



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



## **II Международная конференция «Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур»**

## **II International Conference «Safety Problems of Civil Engineering Critical Infrastructures»**

**SAFETY2016**

**26-27 мая 2016 года,  
Екатеринбург, Россия**

**Сборник тезисов**

Электронное текстовое издание

# СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

26-27 июня 2016 г.

Сборник тезисов

Редактор  
Компьютерная верстка

*В. Н. Алёхин*  
*З. В. Беляева*

Разрешен к публикации 08.06.2015  
Электронный формат – pdf  
Объем 13,5 уч.-изд. л.

620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19  
Информационный портал УрФУ <http://www.urfu.ru>

## **TEACHING ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS. THE CASE OF MARUEEB PROJECT**

*Alekhin V.*

Ural Federal University, Ekaterinburg,  
referetsf@yandex.ru

*Bianco V.*

Università di Genova, Genoa,  
vincenzo.bianco@unige.it

*Maltseva I.*

Ural Federal University, Ekaterinburg,  
3724316@mail.ru

**Abstract**

Buildings are responsible for about 40% of the total energy consumption in Europe, with a major share, ~25%, due to households, which represent the largest sector in all end-users area. More in detail, energy in households is consumed for different purposes – such as hot water, cooking and appliances – but the dominant end-use is represented by space heating, which is generally responsible for about 70% of total energy consumption in households.

Usually, a relevant share of this consumption could be avoided by implementing energy efficiency and conservation measures. To this aim EU launched a program with the aim to enhance energy efficiency of 20% by 2020. Different studies [1] confirmed that this target is achievable, but in some cases financial incentives could be necessary.

Energy efficiency became a topic of relevant interest for the policy makers in 1973, when there was the first oil crisis. In that period many countries realized that their development policies were linked to the decisions taken in the oil supply countries, therefore they understood that the simplest way to decrease their degree of dependence was to consume less energy, which means to implement energy efficiency policies.

Since then many research and technical efforts were employed to deploy innovative technologies and approaches aimed at reducing energy consumption.

Nowadays energy efficiency is a concept applied all over the world, because many countries, also those with a large availability of natural resources (e.g. natural gas, oil, etc.), realized the importance to preserve these resources, so that they can be exploited for a longer period.

In order to design and implement energy efficiency measures, with a specific focus on the buildings sector, it is necessary to train a new generation of engineers “equipped” with specific technical competences and transversal managerial skills.

To this scope the MARUEEB Project aims to set up a master courses on “Innovative Technologies in Energy Efficient Buildings” for Russian and Armenian stakeholders. Russian Federation and Armenia have extreme climatic conditions, with very cold winter and hot summer. They represent a complex case study to approach, therefore engineers are required to have an excellent and up to date knowledge related to energy efficiency measures in buildings.

The aim of MARUEEB is twofold: from one side there is a strong focus on the engineering and management contents of the upcoming study courses, but, on the other side, aspects linked with the reform of curricula in agreement with Bologna Process are also emphasized. In particular, there is the necessity to move from a “staff centered” approach to a “student centered approach”, as reported in Figure 1.

This change of paradigm required that the student is at the center of the process in the creation and execution of study programs. This means that activities and teaching modules are



developed because useful for the students and not for “internal” reasons. In light of this, a close interaction with industrial stakeholders is mandatory, because they will represent the future employers of the students enrolled in the master courses.

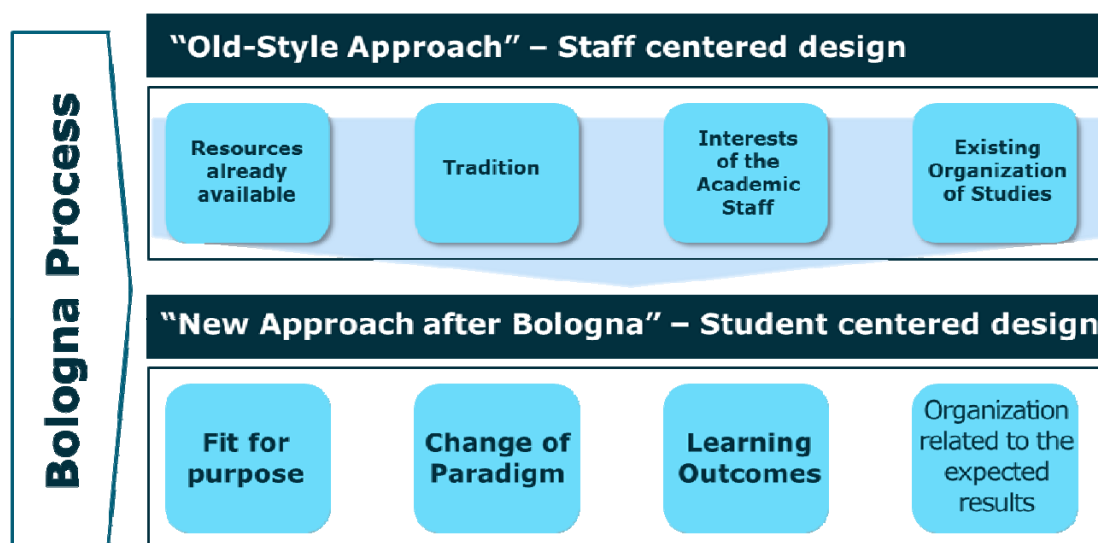


Figure 1. Change of paradigm connected with the Bologna Process

MARUEEB project is jointly developed by Russian, European and Armenian universities, with the cooperation of various stakeholders located in the same countries, as reported in Table 1.

**Table 1**

**Consortium members of MARUEEB Project**

Russian and Armenian HEI	EU Universities	Stakeholders
Ural Federal University (RU)	University of Genoa (IT)	Engineering Academy of Armenia (AM)
St. Petersburg State Polytechnic University (RU)	Seconda Università degli Studi di Napoli (IT)	Ministry of Education and Science of Armenia (AM)
Tambov State Technical University (RU)	Slovak University of Technology (SK)	TICASS (IT)
Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering (RU)	Technical University of Iasi (RO)	EUCEET (BE)
National Polytechnic University of Armenia (AM)	Kaunas University of Technology (LT)	AE Consulting (AM)
American University of Armenia (AM)		Atomstroykomplex LLC (RU)
		Center of Construction Expertise R&D (RU)
		Uralproektdubrava (RU)

MARUEEB consortium is working to develop innovative study programs and teaching modules in the field of energy efficiency in buildings, in order to provide up to date knowledge to Russian and Armenian engineers, as well as to introduce and enforce Bologna Process methodologies in Russian and Armenian universities.

In this framework, the role of external stakeholders is fundamental, because they will help in establishing links with the labor market and they will be consulted on the contents of the study courses, in order to be sure that the new contents are relevant for the industries and, therefore, the possibilities to find a job for the students are maximized.

**Acknowledgment**

MARUEEB Project “*Master Degree in Innovative Technologies in Energy Efficient Buildings for Russian & Armenian Universities and Stakeholders*” is supported by the Erasmus+ Program through the Grant n. 561890-EPP-1-2015-1-IT-EPPKA2-CBHE-JP

**References**

1. Vincenzo Bianco, Federico Scarpa, Luca A. Tagliafico. Analysis and future outlook of natural gas consumption in the Italian residential sector. *Energy Conversion and Management*. 87:754–764, 2014

## **THERMAL BRIDGES AND HEAT LOSSES THROUGH THEM**

*Burukhina Olga*

Ural Federal University, Ekaterinburg,  
olgaburuhina@mail.ru

*Maltseva Irina*

Ural Federal University, Ekaterinburg,  
3724316@mail.ru

*Mohelníková Jitka*

Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering, Czech Republic,  
mohelnikova.j@fce.vutbr.cz

Both now and always construction has been a socially-oriented science. Building technologies seek to meet the latest requirements and challenges. It's related to the organization of building process, the erection of unique buildings and structures, and the creation of certain conditions of indoor environment. Therefore it's paid a lot of attention to calculation of thermal envelope under design of projects that is especially significant for the building on the territory of the Russian Federation, where the comfortable indoor climate must be maintained during extreme summer and winter temperatures. This way it's appeared that unintentional heat losses and heat gains caused by the geometry of the premises or using materials with different thermal insulation properties named thermal bridges play an important role. Thus we can consider about the relevance of programs to simulate the heat flow and to calculate the temperature field of any part of dwelling and analyze them.

The subject of my work is an industrial building in the Central part of Russia. The aim of the work is to analyze the results of CAD calculation of heat losses appeared due to thermal bridges at wall corner.

Thermal bridge is a term often applied in the construction and engineering. Thermal bridge is part of the building envelope, where the otherwise uniform thermal resistance is significantly changed by full or partial penetration of the building envelope by materials with a different thermal conductivity, and/or a change in thickness of the fabric, and/or a difference between internal and external areas, such as occur at wall/floor/ceiling junctions.[1] Thermal bridge is the part of the heated building or structure where are heat losses, as well as possible formation of condensation, moisture accumulation and the appearance of mold, which increases the risk damage to the building. Therefore, thermal bridges must be avoided in maximum way under the construction of insulated buildings.

Thermal bridge is part of building envelope with higher thermal conductivity of the material of construction in comparing with the surrounding structure of the building. Inside the building wall surface temperature at these locations is generally lower than the other one, and usually there is condensate.

There are two types of thermal bridges depending on the causes of heat losses:

- Structural thermal bridges
- Geometric thermal bridges

Structural (materials) thermal bridges appear due to combination of materials with varied thermal conductivity. For example:

- window and door opening abutment, lintels;
- columns and ceiling constructions forming part of façade or roof structure;
- frames in framing constructions;

- thermal insulation mounting elements (fired pin);
- basement and cellar, located above planed marks;
- joint of brick masonry or two panels;
- junction of concrete and masonry structures.

Geometrical thermal bridges occur the result of architectural shapes diversity of buildings namely surface area or thickness. For example:

- external and internal corners of walls and other structures ;
- jetty supports and elements of construction;
- interface construction elements;
- window and door opening abutment;
- balcony, fence roof, oriel, etc [2, 3].

In practice, there is usually a combination of both types of thermal bridges. They can be found with a special device thermal imager. During accepting the buildings in the operation thermal quality control of thermal protection of the building in order to detect hidden defects and their elimination should be carried out [4].

Let us discuss most common cases of appearance of wall thermal bridges.

Bearing area of floor slab is a narrow place in insulation of building envelope. There is additional insulation in the design projects to prevent heat losses, but they usually may take place because of violation of technology at the construction side. It turns that type or size of building elements has been changed and they come through the whole space of the wall or builders have changed design bearing area and there is no place for insulation. The similar situation may take place with a rim system in brick dwellings with timber ceiling. Also technology of installing windows or door opening abutment may not be complied, when flat arch from reinforced concrete is used instead of ones with insulation.

At picture 1 it is shown that wall construction from reinforced concrete create thermal bridges despite the insulation. At the upper part of the picture floor slab is protected from outside. But due to high thermal conductivity it create increased thermal gradient near adjacent brick masonry without any insulation. That's why heat losses appear in this detail. At the bottom part there is similar situation. Window (door) lintel is protected from outside, but under it there is only a plaster [5].

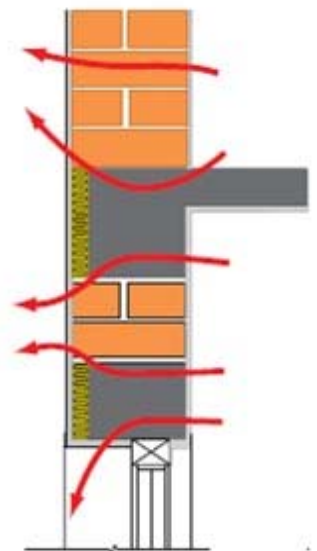


Figure 1  
Scheme of heat losses

Location of the window block in the wall opening also plays an important role in the prevention of thermal bridges. If the house is insulated curtain facade technology, it's better to

move a part of the frame near to outside surface of the the wall into the outer layer of insulation, thereby removing the corner bearing wall from exposure to cold air, and having covered it big layer of insulation. It is necessary to consider about the external insulation of slopes and window unit and manage it carefully. It allows to avoid the huge heat loss around the perimeter of the window unit and protect from the condensation in the winter.

It's better to do technological communication hole passing through the outer wall from a poorly heat conducting materials. For example to put spray foam insulation in plastic pipes at the landing at the wall and to do the same with internal volume after paving communication pipe. [6]

An effective and well thought-out insulation of the building envelope allows minimizing the number of highly expressed thermal bridges of both types, which is very important in the construction of energy-efficient buildings as well as maintenance exact inside conditions. It can be done at the stage of the project. The current system allows calculating the surface temperature of the constructions, heat flow, building graphs of isotherms and temperature fields in simple way.

Program AREA is one of such kind of programs. It has easy-to-use interface and user-friendly operation process. First of all you need to design your model. You can choose most similar model from huge program's database and work with it or create your own model and add it to database for further use as I did. It should be mentioned, that database includes most common and widespread connection knots. You should keep in mind that datum point is located in the right bottom corner of working space and axis  $x$  is directed to the left and axis  $y$  is directed to the upward. It's important, that you should set materials' properties of area during creation of model. You can also choose properties from huge program's database or create your own material. After setting model parameterizes you should set internal and external boundary conditions. And of course you can choose from database conditions according to Codes or create you one if you are calculating special model. And you should be very attentive to set right geometrical assignments of boundary conditions. Next step is to meshing your model for calculation. The more quantity of points gives the more precisely calculation. After all this steps your model is ready for operation. As the result you obtain report of calculation and graphic output of calculation to explore specific points or model as a whole.

It is the program, where I decided to calculate temperature fields, showing the change in wall temperature under detailed calculation of the corner of construction of an industrial building.

I chose a model solution for building located at Tyumen. Wall sandwich-structured composite consist of following layers, what is appropriate for this district [7].

Galvanized steel	0.8 mm
Mineral wool	100 mm
Galvanized steel	0.8 mm
Total:	102 mm

As it was mentioned above thermal bridges are often combined type. That's why the subject of my review is the horizontal corner of sandwich-structured composite of building envelope. According to the technical catalog the corner is solved as follows [8]:

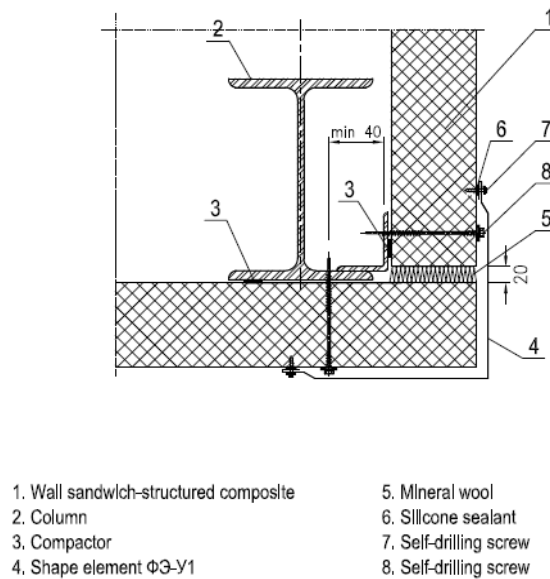


Figure 2. Detail of corner

For the calculation of this construction, I did it more complicated step by step to realize dynamic of changing values on graphic outputs. Therefore I calculated 3 modes and obtained 6 pictures of temperature field and isotherms.

It should be mentioned that the program operates with a measurement accuracy of up to 1 mm, therefore I rounded the thickness of the metal layer construction up to 1 mm.

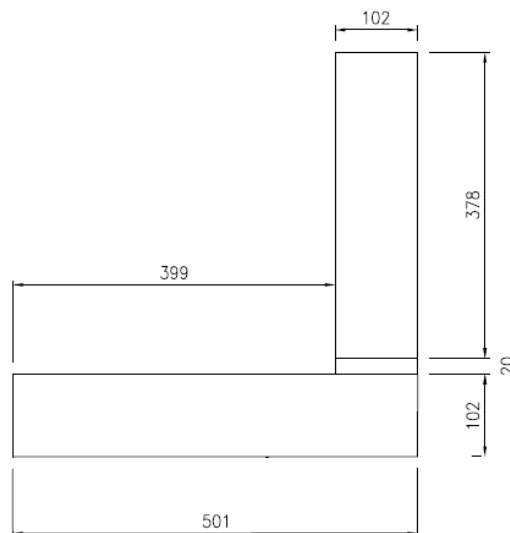


Figure 3. Detail of corner. Model 1

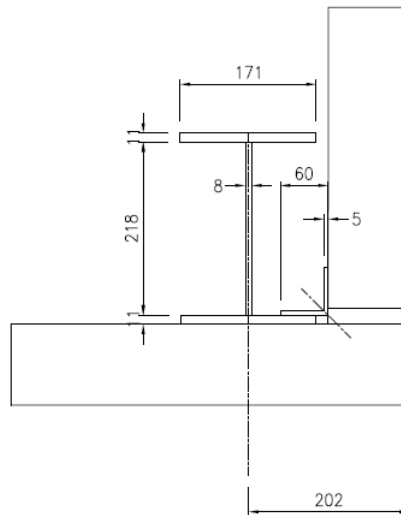


Figure 4. Detail of corner. Model 2

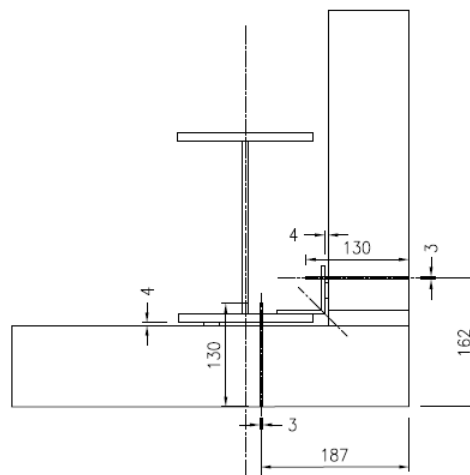


Figure 5. Detail of corner. Model 3

Results are represented in table 1.

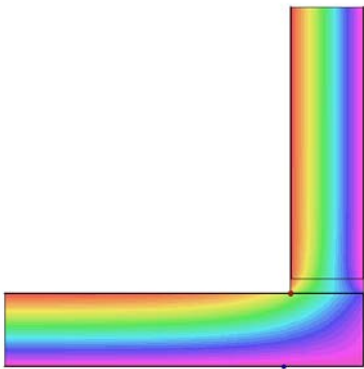
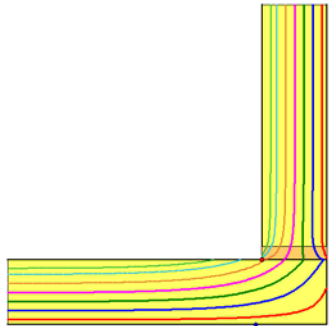
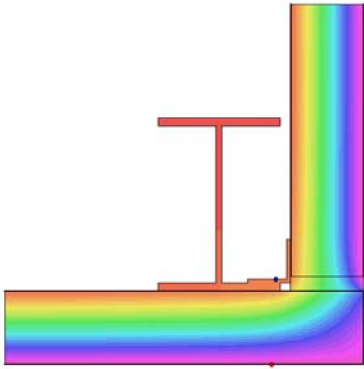
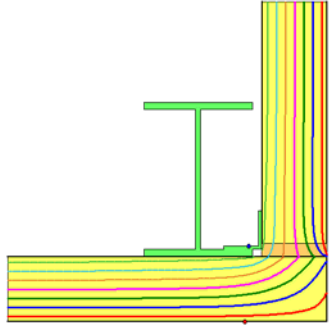
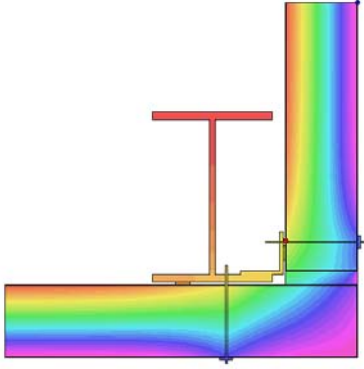
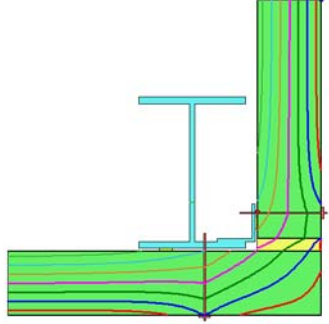
The graphs of isotherms show that there is the lowest temperature at the angular point of the inner corner. Model 1 demonstrates the determination of the geometric cold bridge. It's appears due to the fact that area of the outer surface of the angle is greater than the inner one, so this surface release more heat. Model 3 represents a combined type of cold bridge. Heat losses occur due to differences in the geometry of the inner and outer corner, and by the inclusion of a material whose thermal conductivity is higher than the surrounding structure.

For the operation conditions of given building and its dimensions such losses are not substantial, because production takes place with the release of excess heat. But using this or similar constructions in dwelling buildings is not recommended because it greatly reduce the energy efficiency of buildings.



It should be note that use CAD program as AREA makes process or creation and design much more easy as well as personalization of work space and database. A lot commercial and non-commercial programs offer such options. There is a row of similar programs and using one program or another depends totally on one's aims and complexity of the problem.

**Table 1****Picture of temperature field and isotherms in depends of models.**

Model №	Temperature field	Isotherms
Model 1	 <p>LEGEND: MODEL11 Temperature field [C] -4.4 -4.4 -4.4 -2.3 -2.3 -0.1 -0.1 2.0 2.0 4.2 4.2 6.3 6.3 8.5 8.5 10.6 10.6 12.8 12.8 14.9 • T=7.44 C, R=0.626 • T=6.58 C, R=0.986</p>	 <p>LEGEND: MODEL11 Isotherms -5.00 C -2.00 C 1.00 C 4.00 C 7.00 C 10.00 C 12.00 C • T=7.44 C, R=0.626 • T=6.58 C, R=0.986</p>
Model 2	 <p>LEGEND: MODEL3 Temperature field [C] -4.3 -4.3 -4.3 -2.1 -2.1 -0.1 -0.1 2.4 2.4 4.6 4.6 6.8 6.8 9.0 9.0 11.2 11.2 13.5 13.5 15.7 • T=6.52 C, R=0.984 • T=13.57 C, R=0.994</p>	 <p>LEGEND: MODEL3 Isotherms -5.00 C -2.00 C 1.00 C 4.00 C 7.00 C 10.00 C 13.00 C • T=6.52 C, R=0.984 • T=13.57 C, R=0.994</p>
Model 3	 <p>LEGEND: MODEL3 Temperature field [C] -4.3 -4.3 -4.3 -2.1 -2.1 0.0 0.0 2.2 2.2 4.3 4.3 6.5 6.5 8.7 8.7 10.9 10.9 13.0 13.0 15.2 • T=0.70 C, R=0.685 • T=6.48 C, R=0.982</p>	 <p>LEGEND: MODEL3 Isotherms -5.00 C -2.00 C 1.00 C 4.00 C 7.00 C 10.00 C 13.00 C • T=0.70 C, R=0.685 • T=6.48 C, R=0.982</p>

## References

1. ISO/DIS 10211. Thermal bridges in building construction. Heat flows and surface temperatures. Detailed calculations

2. Ficker T. Handbook of Building Thermal Technology, Acoustics and Daylighting// T. Ficker. – Brno.: 2004.
3. Andreeva T. Review of Linear Thermal Bridges in High-Rise Building. Bachelor's Thesis Spring 2013 // Degree Programme Civil Engineering Oulu University of Applied Sciences.
4. СП 50.13330.2012 Актуализированная версия СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».
5. <http://www.apmoplast.pф/stati/energoeffektivnyj-dom/mostiki-kholoda>.
6. <http://24nst.ru/uteplenie/vse-o-penopoliuretane/mostiki/>
7. Трошкова Н.Д., Мальцева И.Н. Производственные здания. Основы проектирования: Методические указания для курсового проектирования// Н.Д. Трошкова, И.Н. Мальцева – Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 2013. – 43 с., илл.
8. <http://dwg.ru/dnl/10467>

**II Международная конференция  
«Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур»**

**THE RESILIENT STRATEGY FOR A  
METROPOLIS: BARCELONA**

*Ignasi Fontanals Vidal*

Opticits, Barcelona, Spain

26-27 июня 2016 года,  
Екатеринбург, Россия

For the Barcelona City Council, resilience has been the engine driving the infrastructures construction during the Olympic project and the next ones. The fact that currently resilience is a trend topic confirms the validity of the Barcelona managers approach during the last 30 years.

Cities are the biggest source of richness in the world. They lead innovation, but also are leaders in waste generation, greenhouse gas emissions and many other causes responsible for the climate change. In addition, a chaotic concentration of people and the activity with almost no limits — high urban entropy — increase these risks. Most of the greatest metropolises in the world are seaside cities at risk of flooding and erosion. All of them suffer huge social pressures, and even violence. It is an explosive situation and this is the reason why they need to improve their resilience.

The strategies to improve Barcelona resilience started in 1987 after winning the 1992 Olympics bid. The city launched important projects to provide defensive infrastructures to guarantee services, such as ring roads, rain water collection tanks and tools for a better coordination of the operations. Twenty years later, the project 3Ss (Security of Services Supply) was created as a consequence of the incidents that occurred in Barcelona in 2007. A series of impacts — a generalized drought period, problems with the high-speed railway construction at the entrance of the city and finally the power outage — did underline the need to review the vulnerability of the city when infrastructures and supply services fail. These historic and collective actions have been stressed during these last years, thanks to the city diplomacy strategy to promote public resilience management systems and the international increasing interest on city resilience.

In 2015, following the policies and actions to improve the resilience of the city, the Barcelona City Council conducted a project assessing the resilience of a particularly critical area of the city with a new online platform called HAZUR. This project can be considered as the culmination of all the work done to date, bringing together all the accumulated know-how over the previous years and a new way to facilitate public-private collaborations.

During the last 30 years, Barcelona has demonstrated that urban resilience generates the best tools to manage a complex city. It enables a crossed and interdependent approach of all infrastructures and urban services promoting optimal design, efficient operation and security in front of crisis or impacts on the city. Thanks to this approach, the city managers have a tailored-made Situation Room connected to the different sensors and devices, but it has also permitted that a start up the develops of an online tool to bring resilience to every city.

**RESILIENCE ANALYSIS OF URBAN  
INFRASTRUCTURES USING THE 3D  
VIDEOGAME SIMCITY IN COMBINATION  
WITH ADVANCED QUANTITATIVE RISK  
ASSESSMENT**

*Jaratpong Vasuthanasub*

Old Dominion Inversity, Norfolk, Virginia, USA

*Gheorghe A.*

Old Dominion Inversity, Norfolk, Virginia, USA

*Timashev S.*

НИЦ «Нир БСМ» УрО РАН, г. Екатеринбург,  
TimashevS@gmail.com

*Bushinskaya A.*

НИЦ «Нир БСМ» УрО РАН, г. Екатеринбург

Paper presents a new approach to vulnerability, risk and resilience analysis of different interdependent urban infrastructures using 3D SIMCITY game modeling of incidents and catastrophes which occur in large cities during their every day operation. The main difference between the traditional and the developed method is in that the consequences, which are assessed by sophisticated probabilistic algorithms outside the SIMCITY program, are quantified not only in terms of loss of life/limb, but also in terms of all types of economic losses (assets, revenue, fines costs etc.). The main new component is the quantitative assessment of all types of consequences of incidents and catastrophes. This approach permits assessing territorial risk in quantitative terms, which permits constructing risk maps for the considered city and its vulnerability and resilience.

This approach fully complies with the risk governance framework principle. The International Risk Governance Council (IRGC) defines risk governance as the identification, assessment, management and communication of risk in broad context. The IRGC Risk Governance Framework, 2008 document is intended to provide an appraisal and characterization of risk due to major accidents and acts as a medium to communicate the findings and recommendations. NASA (2010) states that the level of risk should support the ability to make a robust decision.

The risk and vulnerability assessment is conducted in the problem space which in our case is confined to risks due to major accidents within the city infrastructure; continuous airborne, soil and waterborne emissions from different industrial installations and transport vehicles; and HAZMAT transportation inside the city.

The vulnerability parameter of a system of a given design is defined by the form of the vulnerability space of the system in consideration. Method of how to build this space is discussed.

Resilience in this paper is characterized as the probability that a facility or other infrastructure will continue to perform (with capacity at a scale from 0 to 100%) after being hit by an uncertain exposure to a vector of forces and influences. Hence, resilience is intrinsically a conditional characteristic of the influence. In order to enhance resilience, the system in consideration should be equipped with subsystems, which monitor the environment, could, at least partially, accommodate the shock, and are capable to bring fast recovery to the system at minimum cost. A special module is described which is an optimization problem solver of cases when there is a possibility to chose the best (or the cheapest) means out of a list of available means, which decrease the risk.

A mathematical correlation between vulnerability, risk and resilience is outlined, based on multiple Monte Carlo simulations.

The paper describes in detail the quantitative algorithm which leads to providing the decision maker with means which allow scaling the risks and vulnerabilities and construct a

resilience management plan (RMP) for the city or some of its parts. As a result, the primary areas to invest resources (time and funding) are identified.

**II Международная конференция  
«Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур»**

**BUILDING REGULATION FOR RESILIENCE  
IN LOW AND MIDDLE-INCOME COUNTRIES**

*Frederick Krimgold*

Virginia Tech  
Advanced Research Institute  
Arlington, USA  
krimgold@vt.edu

*Thomas Moullier*

Virginia Tech  
Advanced Research Institute  
Arlington, USA

**26-27 июня 2016 года,  
Екатеринбург, Россия**



Over the past 20 years, natural disasters have affected 4.4 billion people, claimed 1.3 million lives and caused \$2 trillion in damages.<sup>1</sup>

Chronic health and safety risks and exceptional disaster events disproportionately impact the poor and the marginalized. Over the last 30 years, more than 80 percent<sup>2</sup> of the total life years lost in disasters came from low- and middle-income countries, typically setting back national economies by 5 to 120 percent of gross domestic product (GDP).

While the international community has made significant progress in strengthening disaster preparedness, response and early warning systems, it has been less successful in effectively addressing the mitigation of underlying risks in the pre-disaster context, especially in low- and middle-income countries. There is a growing consensus that building code implementation has not received adequate attention or investment for disaster risk reduction (DRR).

Successful risk reduction and hazard adaptation in developed countries have relied in large part on effective and efficient building regulatory systems elaborated over time. Looking at the past 10 years, 47 percent of disasters occurred in high-income countries with more advanced building code systems, but accounted for only 7 percent of disaster fatalities globally.<sup>3</sup>

#### Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030

The third World Conference on Disaster Risk Reduction held in March 2015 adopted the “Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030.” The priorities for action have ample references to building and land use regulatory development and implementation as key elements of disaster risk reduction. Based on this agenda, there is now evidence the international consensus is strong to expand the full potential of effective building regulation in reducing risks.

With support from the World Bank and funding from the Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (GFDRR), a new report entitled “Building Regulation for Resilience” reviewed factors that have prevented building codes from being effective tools for disaster risk reduction in developing countries. It suggests practical recommendations and takes stock of applicable innovations for a reform agenda.

Based on this review, the World Bank proposed a comprehensive “Building and Land Use Regulatory Implementation Program.” This program offers a structure to involve and galvanize a wide range of partners with specific strengths and experiences to build a regulatory process. The strategic goal of the proposed program is to help reduce human and economic losses by avoiding the creation of new risks, and by reducing existing risks in the built environment.

#### Obstacles to Building Regulatory Effectiveness in Low- and Middle-Income Countries

---

<sup>1</sup> UNDP, 2014

<sup>2</sup> Global Assessment Report (GAR) on Disaster Risk Reduction, UNISDR, 2015

<sup>3</sup> Munich Re, 2013

Rural-urban migration in the developing world has taken place over recent decades largely without effective building or land use regulation. As such, urban development has extended to hazardous sites and resulted in the construction of unsafe, vulnerable settlements, leading to a vast expansion of global disaster risk.

The failure of regulatory policy and implementation in low- and middle-income countries may be traced to several causes. Poverty has been a major factor leading to urban migration and a limiting factor in the development of municipal services and regulatory capacity.

Compounding this failure was:

- Ineffective land use management systems that failed to limit settlements in hazardous areas, dramatically increasing urban disaster risks. Cities in low-income countries have rapidly expanded on to hazardous territory without clear title or critically needed infrastructure.
- Weaknesses in building code administration and institutional capacity. A fundamental problem in low- and middle-income countries is the lack of funding and support for building regulation at the local level. The problem usually is deep rooted in challenges linked to income levels and authority over taxation, as well as in constitutional and administrative structures. Many local governments do not have adequate staff with technical skills to monitor new construction appropriately.
- Insufficient legislative foundation. Incomplete national legislation often has resulted in a failure to establish ways to implement regulations and to designate public and private responsibilities. There is often a failure to connect building regulation with the larger systems of civil, commercial and criminal law.
- Unaffordable Compliance Costs for the Poor. Designing and setting the standards too high in low-income countries often results in depending on imported building materials and stifling local innovation.
- Limited Recognition of Prevalent Building Practices.
- The widespread practice of “incremental housing” (the gradual process of adding or improving building components as funding, time and/or materials become available) rarely recognized formal building codes, widening the gap between formal and informal building sectors.
- Dysfunctional Regimes of Building Controls. Aside from the possible added building costs required to comply with codes, permitting and inspections services in developing economies often are expensive, overly complex and inefficient. This can be a deterrent to meeting code requirements.
- Corruption and Regulatory Capture. Corruption in building code enforcement has been associated with extensive building failure and loss of life in disasters. Recent statistical

evidence shows that 83 percent of all deaths from earthquakes in the past three decades have occurred in countries considered most corrupt by Transparency International.<sup>4</sup> Regulatory capture in building code systems can considerably distort outcomes by reducing safety standards to benefit the regulated industry. It also can achieve the reverse: excluding local owners and builders by increasing safety standards to unsustainable or unaffordable levels.

### **Essential Components of a Building Regulatory Framework**

Three basic components form the core of any building regulatory regime: a legal and administrative framework at the national or sub-national level; a building code development and maintenance process; and a set of implementation mechanisms at the local level.

However, these core components do not function in a vacuum. In the developed world, regulatory capacity evolved parallel to a complex mix, or “ecology,” of supporting institutions. They have provided legal and financial mechanisms, as well as certified technical competence required to achieve regulatory compliance. Key elements of this regulatory ecology include the general conditions for commercial development, the rule of law, security of tenure, functioning building finance and insurance mechanisms.

Important institutions specific to the building sector include: accredited building professional education; professional societies and related codes; accredited construction training institutions; licensing procedures for building professionals; and quality control processes for building materials.

### **A Vigorous Building Regulatory Reform Agenda to Support the Sendai Framework for DRR**

New urban development between 2015 and 2030 will exceed all previous urban development. Sixty percent of the area expected to be urbanized by 2030 remains to be built, particularly in South-East Asia and Sub-Saharan Africa.<sup>5</sup> Therefore, our first priority is to stop the expansion of added disaster risk in the siting and construction of new settlements. New construction can be made disaster-resistant for a small additional cost, while retrofitting existing vulnerable structures often requires major expenditure. Establishing standards and implementation mechanisms for new construction provides a solid institutional and technical foundation from which to address the more problematic disaster risk of existing vulnerable settlements.

The proposed reform agenda recommends closely inter-related strategies to reinforce the regulatory capacity of countries at various stages of development. We recommend the following development priorities:

---

<sup>4</sup> Corruption Kills, Bilham, Ambraseys, 2011

<sup>5</sup> GAR, UNISDR, 2015

- Use advice and support, not just police enforcement, to help comply with regulations. Integrating a building advisory service with building inspectors to help builders provide code-compliant and safer homes has shown to work in post-disaster rebuilding, such as in Central Java, Indonesia, after the 2006 earthquake, or Pakistan after the 2005 earthquake. This supportive and advisory role, coupled with rigorous inspection, should be required during “pre-disaster” conditions as well.
- Develop the capacity of national and subnational institutions. A coordinated effort should address the specific need for adequate funding, staffing and execution to implement local building and land use regulations. This requires specific support for training building officials and funding to ensure appropriate compensation. It also demands parallel efforts in developing building and planning education, financial and insurance mechanisms for the management of risk, and public understanding of the importance of safe siting and construction.
- Focus on creating building standards appropriate to the poor and vulnerable. Low-income and lower middle-income countries have the least capacity to cope with disaster losses. Where regulations are unknown, unenforceable or excessive, they tend to be disregarded by most, especially the poor. The benefits of a safer built environment should be accessible and affordable to the poor. An open participatory process with representation from all relevant stakeholders is necessary to ensure regulatory provisions that represent the values and resources of the community. Consistent with this approach, we should support measures to improve security of tenure and reduce the cost of entry to the legal land and housing markets.
- Promote innovations for effective building controls. Experience during the past 20 years points to promising efforts in administrative simplification and to reduce regulatory compliance costs. With appropriate safeguards, using private sector technical resources to boost regulatory implementation should be extended to disaster risk-prone jurisdictions. This approach also could ease the burden of building permitting procedures on local governments. Modern compliance tools include improved information and communications systems for risk management, building practitioners’ certification, private third-party accreditation to provide review and inspection, and using insurance mechanisms to augment building control. Numerous experiences in the field demonstrate transparency and procedural justice result in greater effectiveness and compliance. This can be implemented through small incremental steps. Building on global experience, these steps can typically include measures that reduce arbitrary discretion in planning and building permit approvals, and expand disclosure of information related to technical and administrative requirements.

### A Programmatic Approach to Catalyze Investment in Regulatory Capacity

Priority 3 of the post-2015 Sendai Framework for Disaster Risk Reduction calls for a coordinated effort to rehabilitate building codes and standards. It acknowledges the need for a localized and calibrated approach, focusing on vulnerable settlements, irrespective of the country's broader income category.

Achieving risk reduction in the most vulnerable areas will depend considerably on how other development initiatives succeed in helping the poor access better and safe housing, and essential services. The proposed “Building and Land Use Regulatory Implementation Program” initiated by the World Bank will build synergies with related programs. These programs include upgrading informal settlements, affordable housing projects, housing finance, land development and land use policies and regularization initiatives, as well as post-disaster reconstruction programs.

The program will offer the structure to involve and galvanize a wide range of partners with specific strengths and experiences in building a regulatory process.

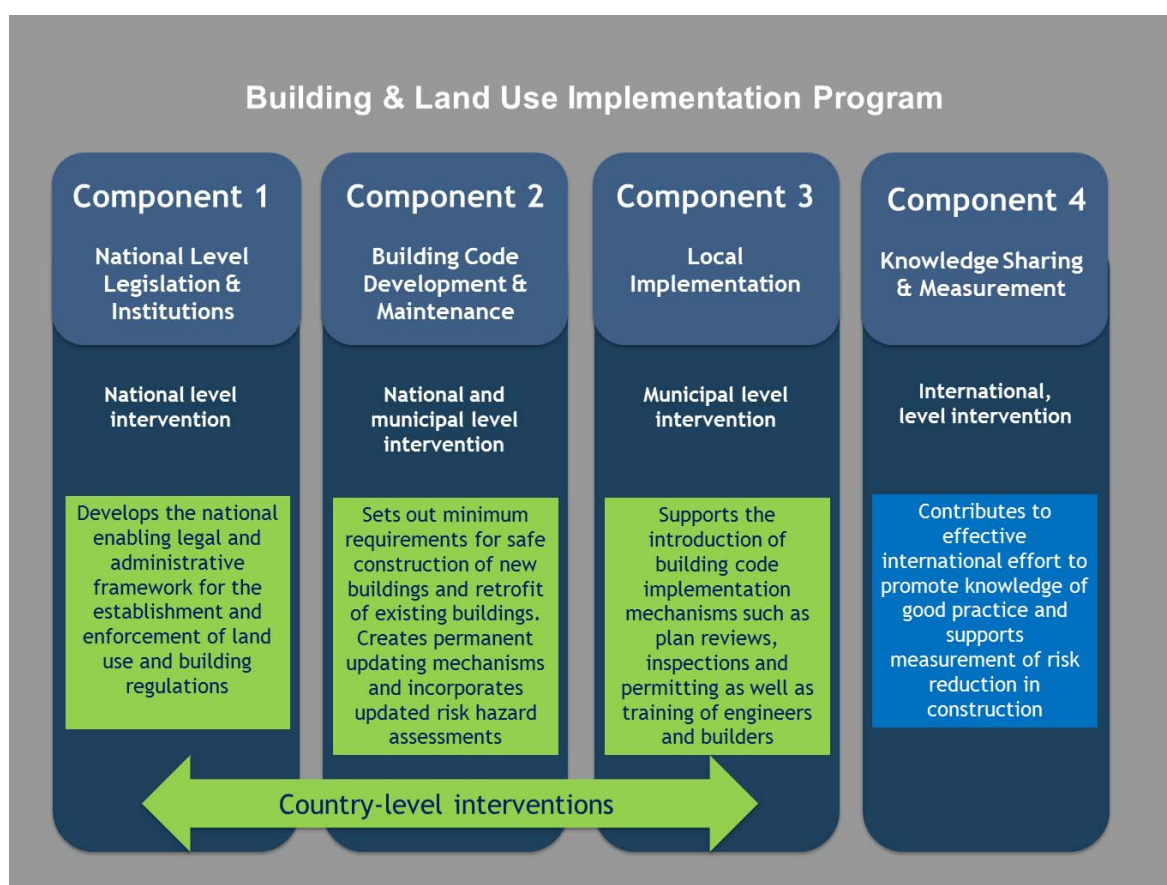


Figure 1. Building and Land Use Implementation Program

Component 1 – National Level Legislation and Institutions: Based on locally-defined priorities, activities will establish or improve the national legislative framework that can mandate the construction of safe buildings and enable the construction process to proceed efficiently.

Financial investment would aim to fund national hazard mapping programs and to expand the capacity of central authorities.

**Component 2 – Building Code Development and Maintenance:** This component will support the introduction of locally feasible building codes. Activities will help establish the basic institutional capacity to develop, adapt and update appropriate construction standards through inclusive, transparent processes at the national and sub-national levels. Direct investment will involve funding materials testing facilities and equipment, staff training and funding accreditation programs for product testing laboratories. This component will support the broad dissemination of regulatory documentation and the delivery of educational and training programs based on code-compliant practices for all elements of the building sector.

**Component 3- Local Implementation:** Activities will focus on practical administration of the local building department. This will include managing the core functions of building technical assistance, plan review, site inspection, permitting and enforcement, to facilitate voluntary code compliance. Advisory activities will focus on providing outreach services to “informal” sector builders to expand access to the benefits of the building safety/regulatory process. Direct investment in local and municipal building departments will fund building department staff and inspectors training, specialized equipment for plan review and inspection data management, ICT applications to facilitate efficient communication with clients, and training for external building practitioners.

**Component 4 – Knowledge Sharing and Measurement:** This will provide an international focal point for exchanging experience and innovation related to building regulatory implementation. Common tools for the assessment of regulatory capacity, effectiveness and efficiency will be developed and maintained. This component will carry out diagnostics, risk audits and evaluation of regulatory systems capacity. It will offer specialized, standardized evaluation and rating tools. In turn, these evaluations will help track progress at the country and local levels. Using these will help document good practices and identify opportunities for assistance. This component will provide global resources and information to help guide building and land use regulations for disaster risk reduction.

### **A Call for Action**

The world will witness the construction of 1 billion new dwelling units by 2050. Much of this growth will take place in cities with weak capacity to ensure risk-sensitive urban development. The international community must act now to pursue more effective approaches to land use management and building regulation.

Regulatory capacity development in disaster-prone countries and municipalities can ensure that future construction and urban expansion will be located on safer sites and built to protect

population health and safety. Building regulations can help make sure structures are safe and secure, and worth the investment.

The proposed Building and Land Use Regulatory Implementation Program can accelerate the application of current science and engineering understanding to a safer built environment through building regulation implementation and active compliance support.

Building and land use regulation have proven the most effective tools for disaster risk reduction in the developed world. For a variety of reasons, these tools have not been used successfully in many low- and middle-income countries. With the initiation of the Sendai Framework for Action, there is now an opportunity to act armed with extensive experience and new innovative approaches.



## **METHOD OF RELIABILITY ASSESSMENT OF ARCTIC PIPELINES IN THE SPACE OF LOADS**

*Opeyemi D.*

University of Liverpool, Liverpool

*Timashev S.*

Science and Engineering Center "Reliability and safety of large systems and machines" Ural branch, Russian academy of sciences, Ekaterinburg, Russia

*Bushinskaya A.*

Science and Engineering Center "Reliability and safety of large systems and machines" Ural branch, Russian academy of sciences, Ekaterinburg, Russia

*Patelli E.*

Institute for Risk and Uncertainty, University of Liverpool, UK  
edoardo.patelli@liverpool.ac.uk

*Beer M.*

Gumboldt University, Hanover, BRD



Arctic pipelines (PL) are located north of the 60th parallel. The main factors that characterize features of such pipelines are the climatic conditions in their areas of installation. Arctic pipeline routes pass through tundra with dwarf vegetation, marshes, and large areas with permafrost lenses, in watery and swampy areas with unique geological and hydrological conditions. The absolute difference of temperatures ranges from -56 degrees Centigrade in winter to 34 Centigrade in summer; and strong winds with speed over 40 m/s,. Under these conditions, reliability and safety assessment of pipelines is associated with many principal difficulties, one of which is the need to take into account the simultaneous action (a combination) of many Natural and technological loads on the pipeline infrastructure, which are random by nature and can be adequately described only by stochastic processes. Currently, reliability assessment of such systems is not performed due to lack of valid calculation methods.

In this paper a description is given of the first stage of assessing reliability of a pipeline subject to a combination of loads described as random Markov processes. This method, developed by S.A. Timashev in [1], a.k.a. assessment of reliability in the space of loads, assumes the ability of constructing admissible areas in this load space with respect to different limit states.

The method is applied to a segment of an above ground arctic oil pipeline with surface corrosion type defects, subjected to a combination (simultaneous action) of four loads: 1) dead weight of the pipe with insulation and oil being pumped, 2) operating pressure, 3) wind load, and 4) exposure to a uniform wall thickness thinning.

The pipeline is considered as a continuous multi-bay thin wall cylindrical beam. The pipeline design is performed according to the (conditional) limit state which is reached when the equivalent stresses in pipe wall reach the yield stress of pipe material.

The main purpose of the presented work is reliability assessment of PL in the space of load (impacts). At this the dead load of the pipeline structure is considered to be deterministic. The influence of the wind load, uniform corrosion, and operating pressure (OP) are considered to be variables. For them the permissible region is constructed using the above limit state.

Wind pressure in the Arctic zone, due to the fact of climate change is a nonstationary random process> Currently we know too little about it, and does not fit into any of the classic forms of probabilistic description of uncertainty. Therefore, we describe it using a time series of measured wind speeds, using the interval probabilities method [2].

In this paper we estimate the PL reliability through the probability of finding the vector of loads and impacts on a system in the admissible area [1], which is constructed the limit state function [4]. The boundary  $\Gamma$  of this area is found by solving a series of inverse problems at fixed values of the deterministic values and several values of the random variables (RV), which cover the whole area of their existence.

From physics and mechanics of the process it is clear that the maximum allowable wind pressure is at the initial time (start of the system operation) when the whole pipe is brand new. At a fixed corrosion rate for each subsequent moment of time the coordinate  $x$  of the parabola  $y$  is the maximum permissible wind pressure on the pipe, i.e., the pressure at which the limit state is realized in at least one of the points of pipeline cross-section. In this case the limit state equations the actual wall thickness as related to the considered moment of time  $x$ , is used. It is clear that, over time, with the pipe wall thickness thinning, the maximum wind pressure that the pipe can bear will be decreasing.

Now, for each such point (through which the permissible level of wind pressure  $y$ ) we need to find an interval estimate of the probability that this pressure is exceeded, using interval estimates method, which is based on the Bootstrap method of non-parametric statistics.

As the final result, we obtain two-sided estimate of the reliability/(probability of failure) of the pipeline. These estimates also are functions of time, form a corridor and have the same shape as the permissible wind pressure.

#### **References**

1. S.A. Timashev, Reliability of Large Mechanical Systems. Moscow, Nauka, 1982, 182 p. (in Russian).
2. Opeyemi D.A., Patelli E., Beer M. and Timashev S.A. Reliability of Arctic Pipelines Taking into Account the Global Change of Temperatures: Wind Loads Case Study // International Conference on Economic and Technical Aspects of Safety of Civil Engineering Critical Infrastructures. June 10-11, 2015. Yekaterinburg, Russia.
3. SNIP 2.05.06-85\*. Building codes and regulations, Russian Federation: Main Pipelines: Approved by the USSR State 01.01.86. Federal State Unitary Enterprise, Center of Design Products. Moscow, 2000. 60 p. (in Russian).
4. A.B. Aynbinder, A.G. Kamershteyn. Calculation of Pipelines Strength and Stability: A Reference Guide. Moscow, Nedra, 1982, 341 p. (in Russian).

DEALING WITH UNCERTAINTY,  
IMPRECISION AND VAGUENESS: A  
MULTIDISCIPLINARY COMPUTATIONAL  
TOOL

*Patelli E.*

Institute for Risk and Uncertainty, University of Liverpool, UK  
[edoardo.patelli@liverpool.ac.uk](mailto:edoardo.patelli@liverpool.ac.uk)

Computer-aided modelling and simulation is now widely recognised as the third 'leg' of scientific method, alongside theory and experimentation. Many phenomena can be studied only by using computational processes such as complex simulations or analysis of experimental data. In addition, in many engineering fields computational approaches and virtual prototypes are used to support and drive the design of new components, structures and systems. However, even with very advanced models and accurate analysis, a comparison of response predictions with measured data can show an incomplete agreement.

Parameter uncertainty denotes input data in the computational model which are not precisely known and are expected to deviate from the assumed deterministic values. Model uncertainty denotes the fidelity of the mathematical models, which usually involves some abstractions, simplifications or assumptions to represent with sufficient accuracy the actual mechanical and physical responses. Nowadays, it is widely recognised that essential progress in model prediction can only be accomplished when different sources of uncertainty are explicitly included in the analysis. Randomness is represented mathematically by random quantities and by suitable probability distributions. However, many of the uncertain phenomena are non-repeatable events and the understanding in the underlying physics can also be limited or vague [2].

Modelling and simulation standards require estimates of uncertainty (and descriptions of any processes used to obtain these estimates) in order to increase confidence and consistency in safety predictions and encourage the development of improved methods for quantifying and managing uncertainty. Hence, uncertainty management is necessary to provide support to the decision makers through a series of different and interconnected analyses. Uncertainty propagation can be performed by means of different strategies, nonetheless a general distinction can be drawn between parametric [4, 8] and non-parametric approaches [1, 2].

Cossan software is a general purpose software for uncertainty quantification and management [5]. Cossan software aims at promoting learning and understanding of nondeterministic analysis through the distribution of an intuitive, flexible, powerful computational tool.

OpenCossan represents the computational core of the COSSAN software and contains a collection of open source algorithms, methods and tools under continuous development at the Institute for Risk and Uncertainty, University of Liverpool, UK [7]. A key feature of the software is its capability to deal with different representation of the uncertainty adopting concepts of Imprecise probability. This allows a rational treatment of the information of possibly different forms without ignoring significant information, and without introducing unwarranted assumptions. This software implements efficient simulation and parallelization strategies allowing a significant reduction of the computation costs of the non-deterministic analyses. The applicability of the computational

framework for solving real scale problems has been already successfully demonstrated by solving the UQ Challenge Problem [6] proposed by the NASA Langley Research Center [3].

### References

1. D. A. Alvarez. On the calculation of the bounds of probability of events using finite random sets. *International Journal of Approximate Reasoning*, 43:241{267, 2006.
2. Michael Beer, Scott Ferson, and Vladik Kreinovich. Imprecise probabilities in engineering analyses. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 37(1-2):4{29, 2013.
3. Luis G. Crespo, Sean P. Kenny, and Daniel P. Giesy. The NASA Langley Multidisciplinary Uncertainty Quantification Challenge. In *16th AIAA Non-Deterministic Approaches Conference - AIAA SciTech*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2014.
4. Marco de Angelis, Edoardo Patelli, and Michael Beer. Advanced line sampling for efficient robust reliability analysis. *Structural safety*, 52:170{182, 2015.
5. Edoardo Patelli. *Handbook of Uncertainty Quantification*, chapter COSSAN: A Multidisciplinary Software Suite for Uncertainty Quantification and Risk Management, pages 1{69. Springer International Publishing, Cham, 2016.
6. Edoardo Patelli, Diego A. Alvarez, M. Matteo Broggi, and Marco de Angelis. An integrated and efficient numerical framework for uncertainty quantification: application to the nasa langley multidisciplinary uncertainty quantification challenge. In *16th AIAA Non-Deterministic Approaches Conference (SciTech 2014)*, AIAA SciTech. American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2014.
7. Edoardo Patelli, Matteo Broggi, de Angelis Marco, and Michael Beer. OpenCossan: An efficient open tool for dealing with epistemic and aleatory uncertainties. In *Vulnerability, Uncertainty, and Risk*, pages 2564{2573. American Society of Civil Engineers, June 2014.
8. M. Zafalon and M. Hutter. Robust feature selection by mutual information distributions. In A. Darwiche and N. Friedman, editors, *Proceedings of the 18th International Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI-2002)*, pages 577{584, San Francisco, CA., 2002. Morgan Kaufmann.

## **ПРИМЕНЕНИЕ БУО ПРИ КАТЕГОРИРОВАНИИ ПОМЕЩЕНИЙ ПО ВЗРЫВООПАСНОСТИ**

*Алексеев С.Г.*

Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург,  
3608113@mail.ru

*Пищальников А.В.*

НИЦ «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН, г.  
Екатеринбург  
Alexshome@mail.ru

*Барбин Н.М.*

Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург,  
nmbarbin@mail.ru

На производственных объектах могут обращаться несколько различных видов легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ). В связи с этим при категорировании помещений по СП 12.13130.2009 [1] возникает проблема выбора наиболее опасной ЛВЖ. Простое сравнение показателей пожаровзрывоопасности этих жидкостей не позволяет сделать правильный выбор наиболее опасной ЛВЖ и, следовательно, правильно определить категорию помещения по взрывопожарной и пожарной опасности [2, 3].

В настоящее время существуют несколько подходов решения этой задачи. Например, в ОАО «ГАЗПРОМ» используется рейтинг взрывоопасности ЛВЖ, составленный для 13 веществ [4]. Также предложен ряд различных показателей (критериев) для оценки опасности ЛВЖ [5-7]. Ранее нами был введен показатель – безопасный удельный объем (БУО), который позволяет осуществлять категорирование помещений по взрывоопасности без привязки к конкретным геометрическим размерам исследуемого объекта [8].

В настоящей работе проведено сравнение БУО с рейтингом взрывоопасности ЛВЖ по ОАО «ГАЗПРОМ» и критериями для оценки опасности ЛВЖ. Найдено, что БУО лучше всех подходит для роли критерия взрывоопасности ЛВЖ при категорировании помещений по СП 12.13130.2009.

Для удобства применения БУО для основных растворителей составлены таблицы для всего температурного диапазона на территории РФ.

#### Библиографический список

1. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М.: ВНИИПО, 2009. 32 с.
2. Рудаков О.Б., Алексеев С.Г., Бердникова Н.В., Калач А.В., Барбин Н.М. Пожаровзрывобезопасность хроматографической аналитической лаборатории // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21, № 1. С. 57-60.
3. Алексеев С.Г., Рудаков О.Б., Черепашин А.М., Калач Е.В., Рудакова Л.В. Пожарная безопасность исследовательских лабораторий, применяющих жидкостную экстракцию и хроматографию // Сорбционные и хроматографические процессы. 2012. Т. 12, Вып. 5. С. 770-778.
4. СТО Газпром 2-1.1-321-2009. Перечень помещений, зданий и наружных установок с категориями по взрывопожарной и пожарной опасности для объектов транспортировки газа ОАО «Газпром». URL: <http://www.snti.ru/> (дата обращения 16.04.2016).
5. Щеглов П. П., Жолобов В. И., Ложникова Т. И. Проблема безопасности при роспуске с сортировочных горок вагонов с легковоспламеняющимися жидкостями // Вестник ВНИИЖТ. – 2005. – № 6. URL: <http://www.css-rzd.ru/vestnik-vniizht/v2005-6/v6-2.htm> (дата обращения 07.09.2012).
6. Рудаков О. Б., Беляев Д. С., Паринов Д. Б., Рудакова Л. В. Обобщенный критерий химической и пожарной безопасности сольвентов // Пожарная безопасность. – 2005. – № 6. – С. 81–85.
7. Земский Г. Т., Зуйков В. А. Особенности категорирования помещений с наличием жидких смесевых композиций // Пожарная безопасность. – 2012. – № 4. – С. 49–66.
8. Алексеев С. Г., Барбин Н. М., Авдеев А. С., Пищальников А. В. О взрывопожароопасности водочной продукции // Пожаровзрывобезопасность. – 2009. – Т. 18, № 2. – С. 20–23.

## **СТЕКЛЯННЫЕ ФАСАДЫ И ИХ БЕЗОПАСНОСТЬ ДЛЯ ПТИЦ**

*Ананьин М.Ю.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
m.y.ananin@urfu.ru

*Ведищева Ю.С.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
j.s.vedishcheva@urfu.ru

*Курдюкова Е.В.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
elizaveta.kurdyukova@mail.ru



Стеклянные фасады зданий являются сегодня одним из наиболее часто используемых способов внешней отделки зданий. Грамотное остекление фасадов придает современным зданиям больше изящности и архитектурно-художественной выразительности.

Фасад из стекла представляет собой ограждающую конструкцию, в основе которой лежат стеклянные панели, которые крепятся к несущим конструкциям здания, чаще всего, посредством алюминиевых профилей. Современные инженерные решения позволяют минимизировать количество элементов крепления, выходящих на фасад здания, а иногда и замаскировать крепежные элементы таким образом, чтобы их не было видно на фасаде, что может повысить архитектурную выразительность здания.

При всеобщем стремлении закрыть фасад здания стеклом следует помнить о некоторых проблемах экологичности современных зданий, вопросах энергосбережения и надежности фасадных конструкций.

При проектировании и строительстве зданий, особенно с большой площадью остекления, остро встает вопрос энергосбережения. Большая площадь светопрозрачных конструкций подразумевает большие теплопотери здания зимой и перегрев внутренних помещений от солнечной радиации в летние месяцы. С данной проблемой уже столкнулись владельцы и арендаторы площадей в современных высотных зданиях. Кроме того, повышение площади стеклопакетов усложняет их конструктивное решение и снижает надежность таких конструкций.

Одна из важных проблем при возведении фасадов, содержащих светопрозрачные конструкции большой площади, заключается в обеспечении безопасности птиц. Поскольку птицы являются важным звеном в экологической цепочке, сохранение их популяции очень важно для поддержания экосистемы большого города. Кроме того, следы столкновения птиц со светопрозрачными конструкциями неблагоприятно сказываются и на рабочей атмосфере в здании (рис. 1).

Целью представленного аналитического исследования является разработка мероприятий по повышению энергоэффективности и надежности зданий с большой площадью светопрозрачных конструкций, а также снижению опасности для птиц, возникающей при строительстве зданий с большой площадью светопрозрачных фасадных конструкций.

При всем обилии нерешенных проблем, связанных с энергоэффективностью, надежностью и экологичностью светопрозрачных конструкций, проектирование и строительство стеклянных фасадов зданий – неизбежность уже сегодняшнего и тем более завтрашнего дня. Следовательно, надо искать пути решения проблемы энергосбережения,

повышения надежности таких конструкций и сохранения равновесия экосистем проектными методами.



Рис. 1. Следы столкновения птиц со светопрозрачными конструкциями

Объективная реальность сегодняшнего такова, что многим людям приходится проводить большую часть светового дня в офисных помещениях, вдали от естественной среды обитания человека – природных ландшафтов, парков, зеленых зон города. С целью снижения психологической нагрузки на работников офисов, владельцы современных зданий устраивают внутри атриумов зеленые зоны отдыха – зимние сады. Такое решение позволяет снизить психологическую нагрузку в коллективе, повысить работоспособность сотрудников, а так же поднять привлекательность офисного здания в глазах деловых партнеров и возможных арендаторов помещений. С другой стороны, комбинация двух составляющих – сплошное остекление фасада и зеленые насаждения, располагающиеся за этим фасадом внутри здания, является опасным фактором, для птиц, обитающих неподалеку от здания. Зеленые насаждения привлекают птиц, как естественная среда их обитания, заставляя стремиться пролететь через стеклянное ограждение, которое они не воспринимают как препятствие, и столкновение с которым приводит к их гибели.

Кроме того, в зданиях с большой площадью светопрозрачных конструкций размываются контуры здания и особенность такого ограждения состоит в том, что по нему нельзя получить представление об объеме здания, а значит, ограждение становится опасно для птиц.

Одним из путей совместного решения вопросов энергосбережения и экологичности является возможность применения окрашенного в массу стекла. Такое стекло имеет большой спектр цветов, не теряет своих свойств с течением времени. Фасады, выполненные с

использованием окрашенного в массу стекла обладают художественной выразительностью. Кроме того, архитектурную выразительность будет иметь фасад, на котором чередуется рисунок окрашенного в массу стекла и прозрачных вставок. Чередованием окрашенного в массу стекла различных цветов, а так же окрашенного в массу и прозрачного стекла можно достигнуть как метрического, так и динамического рисунка на фасаде, который также легко различим для птиц и, кроме своей архитектурно-художественной выразительности способствует сохранению популяции птиц, обитающих неподалеку от такого здания. Применение цветных и затененных стекол позволит избежать гибели птиц, дав им возможность заблаговременно оценить объем здания и вовремя изменить направление полета.

Визуальный объем здания, отличный от окружающего пространства, можно получить необычным архитектурным решением фасада. Например, проектированием зданий с негладкими, ребристыми фасадами, имеющими нетрадиционные формы. Примером такого здания может служить башня Light House в Мельбурне (рис. 2) [1].



Рис. 2. Башня Light House в Мельбурне

Кроме того, применение цветных и затененных стекол позволяет снизить попадание ультрафиолетового излучения внутрь помещения летом, уменьшив перегрев помещения в летние месяцы, а также выцветание пластика и элементов внутренней отделки помещения. Потери теплоты через окна зимой, избыток ультрафиолета летом – проблема с которой уже столкнулись арендаторы помещений в современных зданиях. Наиболее поверхностным

решением в данном случае может стать применение на фасадах жалюзи, защищающих посетителей здания, а так же материал внутренней отделки помещений от вредного ультрафиолетового излучения. Кроме того, наличие жалюзи обеспечит зрительное разграничение внутренней и внешней среды, обезопасив птиц.



Рис. 3. Разрушение стеклянных фасадных панелей

Известна также еще одна проблема остекления высотных зданий – разрушение стеклянных панелей под действием ветра, что особо характерно для высотных зданий, фасады которых часто проектируют стеклянными (рис. 3). Конструкции каркаса, к которым крепят стеклянные панели, испытывают горизонтальные пульсационные нагрузки от действия ветра и вертикальные статические нагрузки от веса стеклянной панели. Снизить пульсационную составляющую ветровой нагрузки на элементы крепления фасада здания можно, применяя наиболее обтекаемую форму здания. Этот вопрос активно изучается, и вновь возводимые здания уже редко имеют форму параллелограмма, проектировщики с каждым годом все больше склоняются к обтекаемым формам. Вторую составляющую нагрузки – статическую от веса стеклянных панелей, можно снизить, уменьшив размер, а, следовательно, вес самих панелей. Кроме того, по данным зарубежных исследователей [2], членение фасада горизонтальными и вертикальными ребрами с определенным шагом позволяет снизить количество разбившихся птиц, так как птицы не стремятся пролететь



через горизонтальные участки высотой менее 5 см и вертикальные участки, шириной менее 8 см. Таким образом, снижая размеры стеклянных фасадных панелей, выводя на фасад элементы каркаса остекления, можно придать фасаду динамический или метрический рисунок, который позволит снизить гибель птиц, уменьшить поступление ультрафиолетовых лучей в здание и повысить прочность и надежность фасадных конструкций.

При проектировании зданий, стремясь обеспечить архитектурную выразительность здания, повысить его энергоэффективность, в первую очередь надо помнить о безопасности нахождения людей в здании, в том числе о пожарной безопасности. Железобетонные рассечки на стеклянном фасаде не только способствуют соблюдению противопожарных требований, но и помогают снизить количество птиц, разбившихся о прозрачную поверхность фасадных конструкций. Чередование на фасаде конструктивных элементов здания (пояса жесткости, вертикальные несущие элементы) с областями сплошного остекления позволяет визуально оценить объем здания и при этом придать зданию особую архитектурно-художественную выразительность.

Анализ показывает, что в климатических условиях Урала и Сибири фасады, имеющие сплошное остекление, нецелесообразны и стеклянная облицовка фасада должна чередоваться со сплошной облицовкой, либо с конструктивными рассечками из железобетона и металла.

Внутренний объем должен быть темным при взгляде на него снаружи, чтобы обеспечивать представление об объеме здания и обезопасить живущих в городе птиц. По этой же причине нецелесообразно прозрачное остекление с противоположных сторон здания.

#### **Библиографический список**

1. Light house. Градация света // Высотные здания. – 2015. - №2. – С. 38...43
2. For the Bird / Katharine Logan // Architectural record/ - 2015. - №10 - C148...154

**МОДЕЛЬ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ  
КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬСТВА  
УНИКАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ**

*Байбурин А.Х.*

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск,  
abayburin@mail.ru

Установленным фактом [1] считается обусловленность аварий гражданских зданий грубыми человеческими ошибками, примерно в 80% случаев. Источниками ошибок выступают недостаточный уровень знаний, отсутствие опыта, недостатки документации, контроля, нарушения технологической дисциплины, халатность [2]. Грубые ошибки при производстве работ приводят к критическим дефектам, влияющим на возможность использования продукции по назначению, ее надежность и безопасность [3]. Вероятность ошибок возрастает, если объект строительства уникален, работы сложные, имеются трудности в обеспечении надежности технологических процессов (экстремальные природные условия, рисковые территории, сбои в поставках материалов и пр.) [4].

Обеспечение качества и безопасности при возведении уникальных зданий и сооружений основано на выборе квалифицированных исполнителей, менеджменте качества, анализе безопасности и управлении технологическими процессами (рис. 1). Системное взаимодействие указанных элементов создает механизм обеспечения качества и безопасности в процессе строительства и является основой технического регулирования безопасности в соответствии с Федеральным законодательством.

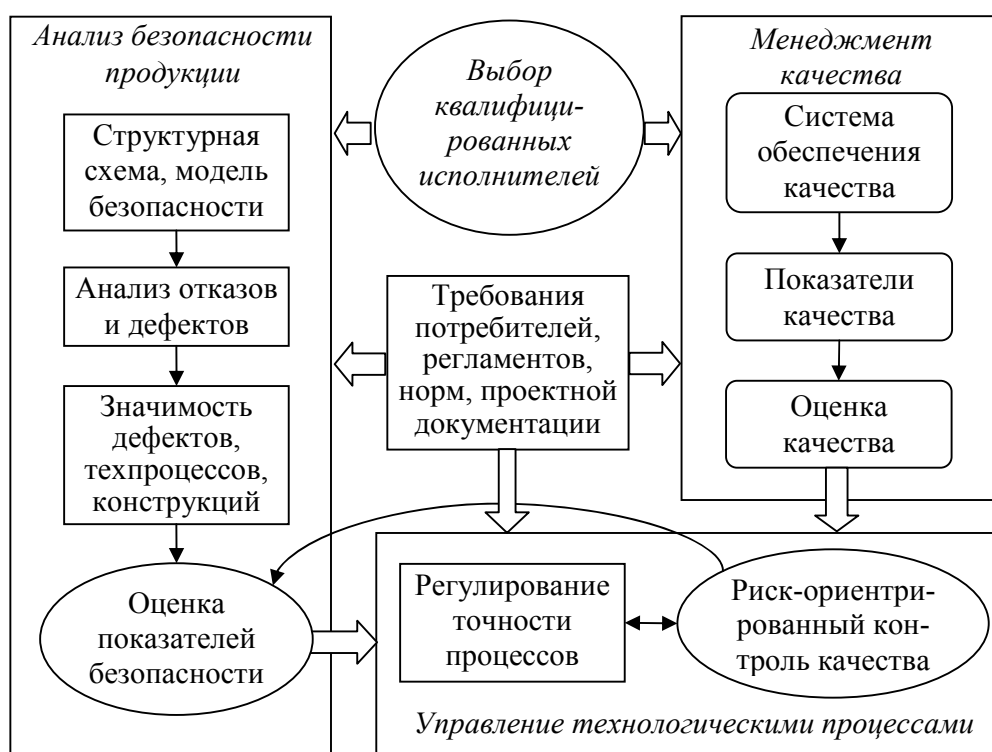


Рис. 1. Концептуальная модель-схема обеспечения качества и безопасности строительства уникальных зданий

Механизм обеспечения показателей безопасности, основанный на концептуальной схеме рис. 1, может быть реализован в результате: повышения уровня системы обеспечения качества строительства; строительного контроля с учётом оценки показателей

конструкционной безопасности; регулирования точности технологических процессов по результатам риск-ориентированного статистического контроля и оценки технического риска; разработки и внедрения соответствующих мероприятий по обеспечению качества и безопасности.

На основе принятой концептуальной модели разработан комплексный показатель качества строительства:

$$\begin{cases} K_{CMP} = v \cdot K_{CK}^a \cdot (K_D K_T)^b \cdot (K_X K_S)^c \cdot (K_R K_P)^d, \\ v = 0 \text{ при } K_R < K_R^{\lim}, \quad K_P < K_P^{\lim} \end{cases}, \quad (1)$$

где  $v$  – коэффициент «вето»;  $K_{CK}$  – уровень системы обеспечения качества строительства;  $K_D$ ,  $K_T$  – показатели бездефектности и точности технологических процессов;  $K_X$ ,  $K_S$  – показатели стабильности процессов по отношению к систематическим и случайным погрешностям;  $K_R$ ,  $K_P$  – относительные показатели несущей способности и безопасности возводимых конструкций;  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  – коэффициенты весомости. Коэффициенты весомости установлены методом анализа матрицы приоритетов:  $a = 0,19$ ,  $b = 0,12$ ,  $c = 0,025$  и  $d = 0,26$ .

Частные показатели, входящие в (1), могут быть рассмотрены как индексы надёжности строительного производства: по уровню системы обеспечения качества  $K_{CK}$ ; по точности технологических процессов  $K_D$ ,  $K_T$ ,  $K_X$ ,  $K_S$ ; по параметрам качества продукции  $K_R$ ,  $K_P$ . Значения безразмерных частных показателей и показателя  $K_{CMP}$  изменяются, как правило, от 0 до 1, что обеспечивает удобство их применения для сравнительной оценки и регулирования и интерпретации в вероятностных терминах надёжности.

В процедурах приёмки работ и итоговой оценки соответствия рекомендуется использовать коэффициент «вето»  $v$ , принимаемый равным нулю в случае достижения пороговых значений снижения несущей способности  $K_R^{\lim}$  или безопасности  $K_P^{\lim}$  конструкций. При этом выражение (1) помимо сравнительной количественной оценки при  $v=1$  обеспечивает оценку и по альтернативному признаку «соответствует – не соответствует».

Уровень системы обеспечения качества (СОК) строительства зависит от возможностей исполнителей безошибочно выполнить работы по проектированию, изготовлению материалов, изделий и возведению здания, а также от эффективности функционирования системы строительного контроля и надзора, что может быть формализовано комплексным показателем:

$$K_{CK} = k \cdot (K_n^\alpha \cdot K_u^\beta \cdot K_c^\gamma), \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент нормативно-правового обеспечения и эффективности функционирования системы строительного контроля и надзора, определяемый экспертным



методом;  $K_n$ ,  $K_u$ ,  $K_c$  – оценки СОК проектно-изыскательской организации, завода-изготовителя строительных материалов, изделий и строительной организации, определяемые по системе показателей [5]. Весомости  $\alpha = 0,15$ ,  $\beta = 0,20$  и  $\gamma = 0,65$  определены ранжированием причин аварий. Величины  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  переменные и могут уточняться по мере накопления статистических данных.

Качество выполнения процессов оценивается показателями точности, бездефектности и стабильности по контролируемым параметрам. Показатель бездефектности  $K_D$  определяется как доля распределения параметра в интервале допуска  $[a, b]$ , показатель точности  $K_T$  – как отношение допуска к фактическому разбросу параметра по уточненным формулам [5]. Показатели стабильности по отношению к случайным  $K_S$  и систематическим  $K_X$  погрешностям представлены как отношения количества стабильных процессов к общему их числу.

Указанные показатели определяются по каждому контролируемому параметру качества и формируют систему единичных показателей, комплексируемых с учётом коэффициентов весомостей. Единичные показатели качества, характеризующие материал, геометрию, соединения элементов, группируются по видам конструкций или работ, далее – по этажам, захваткам. Определение весомости параметров осуществлялось следующими способами: ранжированием причин аварий, построением матрицы приоритетов; анализом чувствительности функций несущей способности и безопасности конструкций; нормировкой объёмов в физическом или стоимостном выражении.

Качество возведённых конструкций целесообразно оценивать относительным показателем несущей способности

$$K_R = R_c / R_c^{np}, \quad (3)$$

где  $R_c$ ,  $R_c^{np}$  – значения фактической и проектной несущей способности для групп однотипных несущих конструкций (стен, колонн, перекрытий и т.д.).

Для оценки уровня безопасности возведённых конструкций с учётом допущенных дефектов использованы относительные показатели: вероятности безотказной работы  $K_P$ , характеристики безопасности по А.Р.Ржаницыну  $K_\beta$  или вероятности отказа конструкции  $K_Q$ . Указанные показатели вычисляются как соответствующие отношения фактических значений безотказности  $P$ , характеристики безопасности  $\beta$  или вероятности отказа  $Q$  к их проектному уровню  $P_0$ ,  $\beta_0$  или  $Q_0$ . Показатели безопасности математически взаимосвязаны. Например, показатели  $K_P$  и  $K_\beta$  связаны отношением

$$K_P = P/P_0 = \Phi(K_\beta \beta_0) / P_0, \quad (4)$$

где  $P$ ,  $P_0$  – фактический и проектный уровни безотказности;  $\Phi$  – функция стандартного нормального распределения;  $K_\beta$  – показатель снижения характеристики безопасности;  $\beta_0$  – проектное значение характеристики безопасности.

Характеристика безопасности конструкции с допущенными дефектами

$$\beta = (\bar{K}_R \bar{k}_0 - 1) / \sqrt{V_F^2 + (\bar{K}_R \bar{k}_0)^2 V_R^2}, \quad (5)$$

где  $k_0$  – проектный запас прочности;  $V_R$ ,  $V_F$  – вариации прочности и нагрузки.

Как показали исследования [5], фактическая вероятность отказа несущих конструкций для гражданских зданий превышает теоретическое значение в 8–18 раз (для сравнения: по оценкам европейских ученых – в 10–40 раз, по данным эксплуатации зданий в России – в 8–70 раз). Для повышения уровня безопасности зданий разработаны соответствующие мероприятия по снижению риска аварии.

Подстановкой в выражение (1) пороговых значений частных показателей могут быть получены количественные критерии для комплексной оценки качества строительства, например, для монолитных зданий  $K_{CMP} = 0.92$ ,  $K_R^{\text{lim}} = 0.96$  и  $K_P^{\text{lim}} = 0.9987$ . При развитии норм проектирования и строительства, совершенствовании технических регламентов по безопасности критерии оценки могут корректироваться.

Новый метод позволяет системно оценить факторы, влияющие на качество, получить количественную оценку, наиболее чувствительную к снижению показателей безопасности. Применяемая в настоящее время оценка качества по коэффициенту соответствия приводит к завышенному результату по сравнению с уровнем бездефектности (в среднем на 15%), не учитывает показатели точности процессов и безопасности конструкций. Достоверность квалитетической модели (1) подтверждается результатами конечно-элементного моделирования влияния дефектов, исследованиями построенных зданий после 6–7 лет их эксплуатации, а также проверкой достоверности частных показателей [5].

#### Библиографический список

1. Augusti G., Baratta A., Casciati F. Probabilistic Methods in Structural Engineering. Chapman & Hall, London, 1984.
2. Мельчаков А.П., Байбурин Д.А., Казакова Е.А. Конструкционная безопасность строительного объекта: оценка и обеспечение. Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2013. 136 с.
3. Теличенко В.И., Ройтман В.М., Слесарев М.Ю. и др. Основы комплексной безопасности строительства: монография. М.: МГСУ, Изд-во АСВ, 2011. 167 с.
4. Безопасность России. Безопасность строительного комплекса / руководители авт. кол-ва Н.А. Махутов, О.И. Лобов, К.И. Еремин. М.: МГОФ «Знание», 2012. 798 с.
5. Байбурин А.Х. Обеспечение качества и безопасности возводимых гражданских зданий: научное издание. М.: Изд-во АСВ, 2015. – 336 с.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ РИСКА АВАРИИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

*Байбурин Д.А.*

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск  
ООО «Конструкционная Безопасность», г. Челябинск,  
dbayburin@mail.ru

*Мельчаков А.П.*

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

В настоящее время весомая часть зданий и сооружений, составляющих основной фонд России, находится в аварийном состоянии. Единичные сообщения об авариях в СМИ не позволяют в достаточной степени оценить критичность сложившейся ситуации. Более полную картину дает статистика, собранная энтузиастами в сети интернет [1]. Тенденция увеличения количества аварий будет сохраняться до тех пор, пока не появится новый механизм регулирования безопасности в строительной сфере. Таким механизмом может стать риск-менеджмент, известный промышленникам и экономистам.

Анализ строительных аварий показывает, что основными причинами обрушения зданий жилищного фонда являются физический износ строительных конструкций и сетей коммунальных коммуникаций. Аварии промышленных зданий и сооружений связаны с физическим износом конструкций покрытия и происходят в основном в зимнее время, когда на покрытие приходится максимальная нагрузка. Для новых объектов типичными причинами аварий являются грубые ошибки, допущенные на стадии проектирования и в процессе проведения СМР. Большинство этих аварий можно избежать, если вовремя принять соответствующие меры обеспечению безопасности.

Аварии можно разделить на три группы:

- аварии, произошедшие в связи с человеческими ошибками на стадиях проектирования, возведения и эксплуатации;
- аварии, произошедшие в связи с непроектными воздействиями на здания и сооружения техногенного, природного или иного характера;
- сочетание первых двух групп – аварии произошедшие из-за превышения проектных воздействий и одновременном снижении сопротивления здания.

По статистике чаще всего происходят аварии, связанные с человеческими ошибками. Поэтому именно этой группе аварий следует уделить внимание при анализе риска [2].

На кафедре строительной механики ВБГОУ ВПО ЮУрГУ (НИУ) разработана методика комплексной оценки риска аварии для проектируемых, возводимых и эксплуатируемых зданий [3, 4].

Основой методики является представление здания как сложной технической системы. Вероятность отказа такой системы, ввиду большого количества элементов, просчитать практически невозможно: каждый её элемент обладает высокой степенью неопределенности за счет большого числа факторов, влияющих на его свойства. Фактически здание, как и любой его несущий элемент, имеет изначально заложенную в строительных нормах вероятность отказа (по различным источникам от  $10^{-7}$  до  $10^{-10}$ ), обусловленную естественным (приемлемым) для человека уровнем риска. Риск аварии можно наглядно представить пересечением функций нормальных распределений вероятностей сопротивления здания  $f(S)$

и внешних воздействий  $f(F)$  (рис. 1). Заштрихованная зона на графике – случаи, когда воздействие превышает сопротивление и происходит обрушение здания.

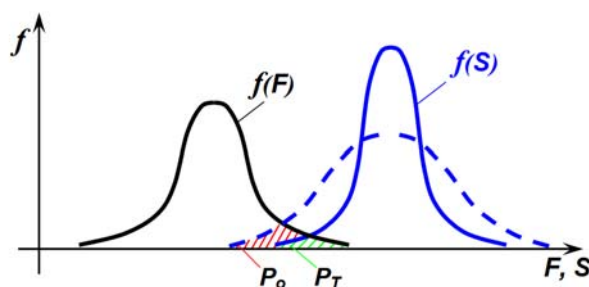


Рис. 1. Распределения вероятностей сопротивления и воздействий

Теоретическую вероятность аварии здания  $P_T$  и вероятность аварии, которую приносят ошибки на этапе проектирования, СМР или эксплуатации  $P_O$  (при этом произойдет размытие функции распределения вероятности сопротивления здания  $f(S)$  представленное пунктиром), как и фактическую вероятность аварии  $P_\Phi$  представляемую их суммой определить практически невозможно. Однако методами теорий вероятности и нечеткой логики можно вычислить соотношение этих вероятностей:

$$r = \frac{P_\Phi}{P_T} = \frac{P_T + P_O}{P_T} = \frac{1}{\nu}, \quad (1)$$

где  $\nu$  – показатель надежности, представляющий собой вероятность того что в здании ошибки отсутствуют.

Показатель  $\nu$  – системный показатель надежности. Он складывается из множества показателей надежности  $p_i$  каждой из групп однотипных конструкций, представляющих обобщенную оценку для каждого отдельного типа конструкций (основание, фундамент, колонны, связи по колоннам, фермы и т.д.).

$$\nu = \prod_{i=1}^n p_i \quad (2)$$

Группа однотипных конструкций описывается законом деградации конструкции – функцией распределения показателей надежности между наиболее поврежденной и наименее поврежденной конструкцией  $f(p)$  (рис. 2).

Здесь  $p_1, p_2$  – показатели надежности наиболее и наименее поврежденных конструкций,  $k$  – коэффициент подверженности, учитывающий соотношение более и менее поврежденных конструкций.

Показатель надежности, принимающий значения от 0 до 1 это численно выраженное нечеткое логическое соответствие конструкции действующим нормам и проекту. Его можно определить эмпирическим методом произведя соответствующие расчеты (например, оценив

снижение фактического запаса прочности или устойчивости и т.д.) или же экспертным методом, при котором этот показатель назначается опытным экспертом.

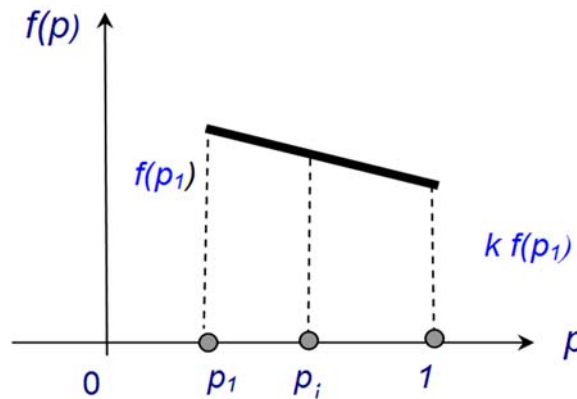


Рис. 2. Распределение показателей надежности

Полученные зависимости используются при статистическом моделировании методом Монте-Карло [5] для симуляции случайного пересечение ряда дефектов и повреждений.

$$r = 1 / \prod_{i=1}^n p_i \quad (3)$$

Циклический расчет риска аварии со случайными показателями надежности дает распределение риска аварии, описываемое гистограммой распределения риска (рис. 3).

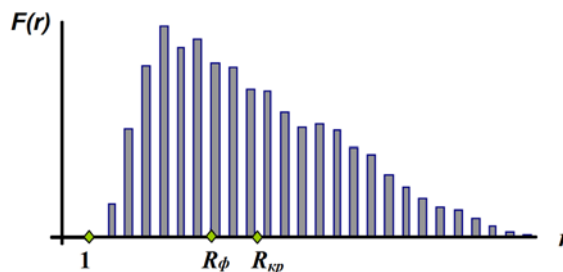


Рис. 3. Гистограмма распределения риска аварии

Здесь  $R_\phi$ ,  $R_{кр}$  – фактический и критический (недопустимый) риски аварии. Также существуют и другие пороговые значения риска аварии, при достижении которых следует производить корректировку проекта, усиление или ремонт конструкций [3].

Распределение риска аварии характеризует безопасность зданий и сооружений, позволяет оценивать текущее состояние здания и прогнозировать влияние допущенных ошибок на безопасность конечного продукта на ранних стадиях производства СМР. Помимо этого, актуальной задачей является внедрение экспертной системы, позволяющей оценивать состояние конструкций по результатам ВИК и позволяющей получать оперативную информацию об изменении уровня риска аварии. Развитие САПР для проведения анализа

влияния отдельных дефектов на риск аварии, уточнения моделей распределения показателей надежности и проведения виртуальных испытаний зданий и сооружений.

**Библиографический список**

1. Обрушения // pamag.ru Электронный портал «Наука и безопасность». URL: <http://www.pamag.ru/fatal/1>
2. Никонов Н.Н., Мельчаков А.П., Рудин В.Н. О безопасности сооружений // Журнал «ПГС». – 2013. – № 3 и № 4. – 36 с.
3. Мельчаков А.П. Прогноз, оценка и регулирование риска аварии зданий и сооружений: теория, методология и инженерные приложения: монография / А.П. Мельчаков, Д.В. Чебоксаров. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2009. 113 с.
4. Мельчаков А.П. Конструкционная безопасность строительного объекта: оценка и обеспечение: учебное пособие / А.П. Мельчаков, Д.А. Байбурин, Е.А. Казакова. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. 136 с.
5. Ермаков С.М. Метод Монте-Карло в вычислительной математике. Вводный курс. СПб.: Невский Диалект, 2009. 192 с.

**О ВОЗМОЖНОЙ ПРИЧИНЕ  
ОБРАЗОВАНИЯ ПРОВАЛОВ И  
КРАТЕРОПОДОБНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ  
ЗЕМЛИ**

*Байда С.Е.*

ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), г. Москва,  
oktaedr2@yandex.ru



В последние годы отмечено такое явление, как провалы в Земле, которые в некоторых случаях не имеют достаточно убедительного научного объяснения. За исключением случаев глубоких провалов, возникающих в горнодобывающих и промышленных районах, их появление на открытых и безлюдных пространствах порождает ряд гипотез о причинах этого явления и ставит вопрос о рисках возникновения подобных явлений и безопасности населения.

Явление глубоких провалов земной поверхности привлекло внимание общественности и ученых после падения Челябинского метеорита, упавшего на земную поверхность 15 февраля 2013 года. Тогда образовались порядка 5–6 крупных воронок, из которых только в одном случае, в озере, был обнаружен кусок глыбы, которую считают остатком метеорита. Через год после этого события в 10 июля 2014 года в тундре на Ямале был обнаружен провал земли диаметром 80 – 100 и глубиной до 45 метров. Гигантская дыра возникла в лесу в 30 км от крупнейшей промбазы Бованенково на Ямале [1].

Существуют следующие версии возникновения этого провала Земли [1, 2]:

- Ямальская воронка образовалась из-за выброса газа из палеомерзлых недр земли.
- Кратер сформировался, когда смесь воды, соли и газа воспламенилась под землей в результате глобального потепления (Анна Курчатова, Субарктический научно-исследовательский центр).
- «Это чисто механический выброс, который, скорее всего, произошел из-за повышения давления при промерзании и изменении объема некоторой полости, в которой были запасы болотного газа», – говорила участница исследований, главный научный сотрудник Института криосферы Земли Сибирского отделения РАН Марина Лейбман.
- Василий Богоявленский считает, что «Ямальская воронка» и многие тундровые озера округлой формы на полуострове Ямал имеют термокарстовое происхождение. Процесс происходит на территориях, где существуют палеомерзлота и подземные льды. В различных регионах Арктики образуются бугры пучения. «...Постепенно эти объекты под действием солнечной радиации разрушаются из-за таяния ледяного ядра и образуют глубокие озера округлой формы. Но они могут и взрываться с большой силой. Такое явление было известно и ранее, но, в основном, для сезонных бугров пучения. Такие образования относятся к разломным зонам, где происходит миграция и подъем газа к поверхности земли. Явление метановой дегазации происходит постоянно, причем наблюдается не только на суше, но и в морях Арктики.
- Заведующий геологическим сектором комплексных исследований ООО «Газпром ВНИИГАЗ» Антон Сеницкий сравнил ямальскую воронку с Бермудским треугольником. По его словам, между ними есть связующее звено – газовые гидраты,

которые представляют из себя атомы метана в стабильном состоянии в молекуле воды и находятся в замороженном состоянии.

- Владимир Павлович Полеванов, главный геолог ФБУ «Росгеолэкспертиза» причиной провала считает накопление водорода в пустотах и его взрыв.
- Провал произошел вследствие активной разработки Бованенского нефтегазоносного месторождения и образование подземных пустот.
- Вследствие падения метеорита.

К этому нужно добавить, что на территории Ямала ученые выделяют четыре объекта, связанные с выбросами газа. Исследование провала и дальнейшие наблюдения показали:

- по внешнему виду воронка напоминает глубокий лунный кратер с почти плоским дном;
- стенки воронки кратера, более глубоких слоев, имеют темные следы высокотемпературного воздействия, причем они относительно гладкие и почти вертикально отвесные;
- не совсем понятно, куда делся полный объем грунта из воронки-кратера, так как нет его разброса вокруг, что всегда имеет место при обычном взрыве.
- воронка-кратер постепенно заполняется водой (до 10 метров за зимне-весенний период 2014-2015 г.г.), хотя вначале была почти пустой;
- в июле 2014 года в Тазовском районе ЯНАО была обнаружена другая такая же воронка, но размером поменьше – ее диаметр составляет примерно 15 метров. Ее нашли оленеводы в 90 км от села Антипаюта и сообщили властям. При этом оленеводы утверждают, что в сентябре 2013 года в этом районе упало некое небесное тело, после чего произошла вспышка.

Анализ и оценка вышеизложенных версий позволяет сделать следующие выводы.

1. Современные технологии нефтегазодобычи таковы, что образующиеся полости, причем, практически, на любой глубине, в процессе добычи или после, сразу заполняются водой. Для инициирования возгорания и взрыва нужны большие пустые полости и кислород, который в недрах земли не образуется. Поэтому образование огромных полостей и скопление в них огромных объемов газа маловероятно. Известные подземные хранилища газа были созданы с помощью подземных ядерных взрывов, которые оплавливают стенки и делают их газонепроницаемыми.

2. Если судить по объему воронки-кратера, то тротиловый эквивалент взрыва или газотеплового выброса должен составлять порядка, и не менее, 5–10 кТ. Что, вообще говоря, мало достижимо при обычном химическом взрыве и, тем более, при естественном природном, и скорее соответствует ядерному. Эксперты, при выдвижении своих версий причины провала или выброса, почему то этот фактор не учитывают.

3. Создается впечатление, что грунт или испарился или поднялся и улетел в Космос.

4. Состояние нижних слоев кратера показывает наличие высокотемпературного воздействия, причем виден четкий контраст и граница со слоями, не подвергшимися такому воздействию. То есть, это не может быть при обычном химическом взрыве, но возможно при импульсном электроплазменном воздействии или электроразряде.

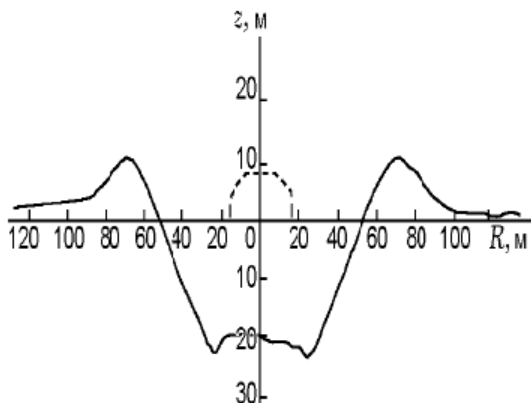


Рис. 1. Характерный профиль воронки наземного взрыва ВВ с тротиловым эквивалентом 5 000 т: радиус воронки по свободной поверхности 55 м, радиус воронки по завалу 70 м, радиус навала грунта 360 м, радиус разлета кусков породы 1 500 м, глубина воронки от свободной поверхности 21,4 м, объем воронки по свободной поверхности 120 000 м<sup>3</sup>, штриховая линия – заряд [4]

Представленный анализ заставляет обратить внимание на событие, произошедшее 12 апреля 1991 г. Это так называемый Сасовский взрыв [3]. Его характерные признаки:

- плоская воронка, напоминающая лунный кратер с холмиком посередине;
- отсутствие значительного объема грунта, при наличии небольшого его количества по краям кратера;
- необычный характер взрыва, из земли в небо.

Научно-обоснованного объяснения этого явления до настоящего времени нет. Официальной версией причины Сасовского взрыва считается взрыв селитровых удобрений, хранившихся в мешках на этом поле. Оценка мощности произошедшего взрыва по размеру воронки и количеству выброшенного грунта во внимание не принималось.

Исследование и гипотеза о возможной причине подобных явлений даны в статье «Электрофонные болиды и плазмоиды природного и искусственного техногенного происхождения» [5]. Здесь, на основе других известных событий и явлений падения метеоритов и других необъяснимых природных и техногенных проявлений, обоснована гипотеза о сейсмическом и ионосферном механизме образовании воронок-кратеров.

Образование воронки-кратера и выброс электроионизированного грунта в ионосферу происходит в результате локального землетрясения, вызванного высоким уровнем отрицательной ионизации грунта и его взаимодействия с локальным подземным положительным зарядом нижних слоев грунта, последующего разряда-взрыва и выбросом

оставшегося отрицательно ионизированного грунта вверх в положительно заряженную ионосферу. Это явление происходит вследствие взаимно индуцированного в ионосфере и литосфере электрического заряда и его последующей разрядки с выбросом грунта вверх. Землетрясение или взрыв-разрядка происходит в момент прохождения этой зоны и локальной концентрации медленных сейсмических волн от произошедших накануне землетрясений [6]. Энергия геоионосферного взаимодействия и последующих сейсмической и электрической разрядки имеет сопоставимый порядок, при землетрясении 3М это 1 Кт и при 4М это уже более 50 кТ.

Это явление особенно характерно для районов древних вулканов и в случае естественной активизации ионосферы, вызванной солнечной активностью, или техногенным воздействием. Автор данной статьи причиной Сасовского взрыва считает именно техногенное воздействие, вызванное экспериментами, проводимыми в то время на станции нагревателей ионосферы по проекту «Сура», располагаемой в 300 км от Сасово.

В частности по «Ямальской воронке». Существует гипотеза о электрофизической и сейсмической природе образования нефти. Поэтому районы нефтяных и газовых залежей являются зоной, сохранившей память и геоструктуру, образовавшиеся вследствие высокой палеосейсмоактивности. Поэтому там всегда существует угроза рисков их возникновения. То же относится и к зонам добычи алмазов, и возможно полиметаллов.

#### **Выводы**

Для исключения подобных катастрофических явлений в промышленных и густонаселенных районах необходимо:

- Проведение геофизических исследований по определению сейсмической палеоактивности и палеовулканов.
- После выявления таких зон необходимо ограничить их освоение и заселение.
- Необходим постоянный мониторинг для определения отклика-активности на внешние геофизические воздействия, которые всегда предшествуют подобным катастрофам.

#### **Библиографический список**

1. Гигантская воронка на Ямале растет и превращается в озеро. 10 июля 2015г. <http://www.newsru.com/russia/10jul2015/voronka.html>
2. Ученые продолжают утверждать: ямальская воронка образовалась из-за выброса газа из палеомерзлых недр земли. 9 июля 2015 г. [pravo.gov.ru/news/lenta/science/detail/83528/](http://pravo.gov.ru/news/lenta/science/detail/83528/)
3. Черняев А.Ф. Камни падают в небо или вещественный эфир и антигравитация. Серия «Открытия XXI века». — М.: «Белые альвы», 1999. — 224 с.
4. В.В. Адушкин, Б.Д. Христофоров. Физика горения и взрыва, 2004, Т. 40, № 6, с.71-75
7. Байда С.Е. Природные, техногенные и биолого-социальные катастрофы: закономерности возникновения, мониторинг и прогнозирование; МЧС России. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2013. 194 с.

6. Байда С.Е. ПлазмOIDные болиды космического и техногенного происхождения. Мониторинг. Наука и безопасность. №15 (3) 2014, с. 68–89.

**II Международная конференция  
«Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур»**

**ВЫСОТНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО Г.  
ЕКАТЕРИНБУРГА. ОСОБЕННОСТИ  
СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И  
ВОДООТВЕДЕНИЯ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ**

*Батенева А.А.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
lyskovanna@yandex.ru

*Дубровина О.Б.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
dubrovina458@gmail.com

**26-27 июня 2016 года,  
Екатеринбург, Россия**

Россия имеет богатую историю высотного строительства. Термин «высотное строительство» появился при возведении в Москве в 1940-1950-х годах семи высотных зданий – сталинских высоток, что послужило отправной точкой к совершенно новому для нашей страны строительству.

Высотным зданием в России принято считать здание высотой более 75 м [1]. В соответствии с СП 10.13130.2009 [2] проектирование таких зданий считается уникальным, выходящим за рамки действующих норм, и поэтому должно осуществляться по индивидуальным техническим условиям.

По части высотного строительства г. Екатеринбург оказался «впереди планеты всей», обогнав многие российские города и догоняя Москву. Именно поэтому в уральской столице проводится форум небоскребов «100+ Forum Russia».

Всего на 1 января 2016 г. построено 160 таких уникальных зданий (94 из которых от 25 этажей и выше), еще более семидесяти строится и запланировано строительство более полутора сотен зданий.

Самые высокие здания Екатеринбурга представлены на рис. 1.

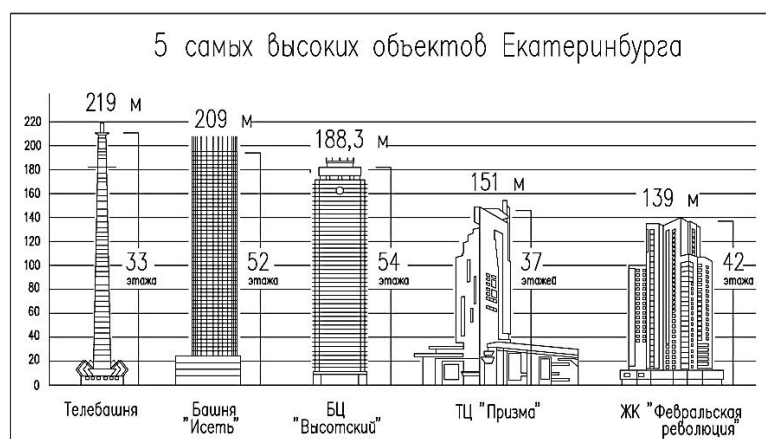


Рис. 1. Самые высокие объекты Екатеринбурга

Башня «Исеть» – 52-этажный (209 м) небоскреб на территории формирующегося комплекса Екатеринбург-Сити. В небоскребе размещено 356 жилых апартаментов. 31-й, 51-й и 52-й этажи являются техническими, а в уровне 53-го этажа расположена крышная котельная. На данный момент «Исеть» является самым высоким зданием в Екатеринбурге и в России за пределами Москвы. Также башня позиционируется как самый высокий северный небоскреб планеты.

Основной особенностью систем водоснабжения высотных зданий является разделение этих систем на подсистемы для конструктивных и функциональных зон (рис.2а). Высота зоны принимается из условия обеспечения максимального допустимого давления перед

запорной арматурой [3]. Желательно, чтобы высота зоны совпадала с высотой пожарного отсека.

Системы водоотведения высотных зданий осуществляются по двум схемам [4]:

- вариант с парными стояками (рабочий и вентиляционный), соединенный между собой перемычками на каждом этаже (рис.2.б);
- вариант с одиночными стояками повышенного диаметра.

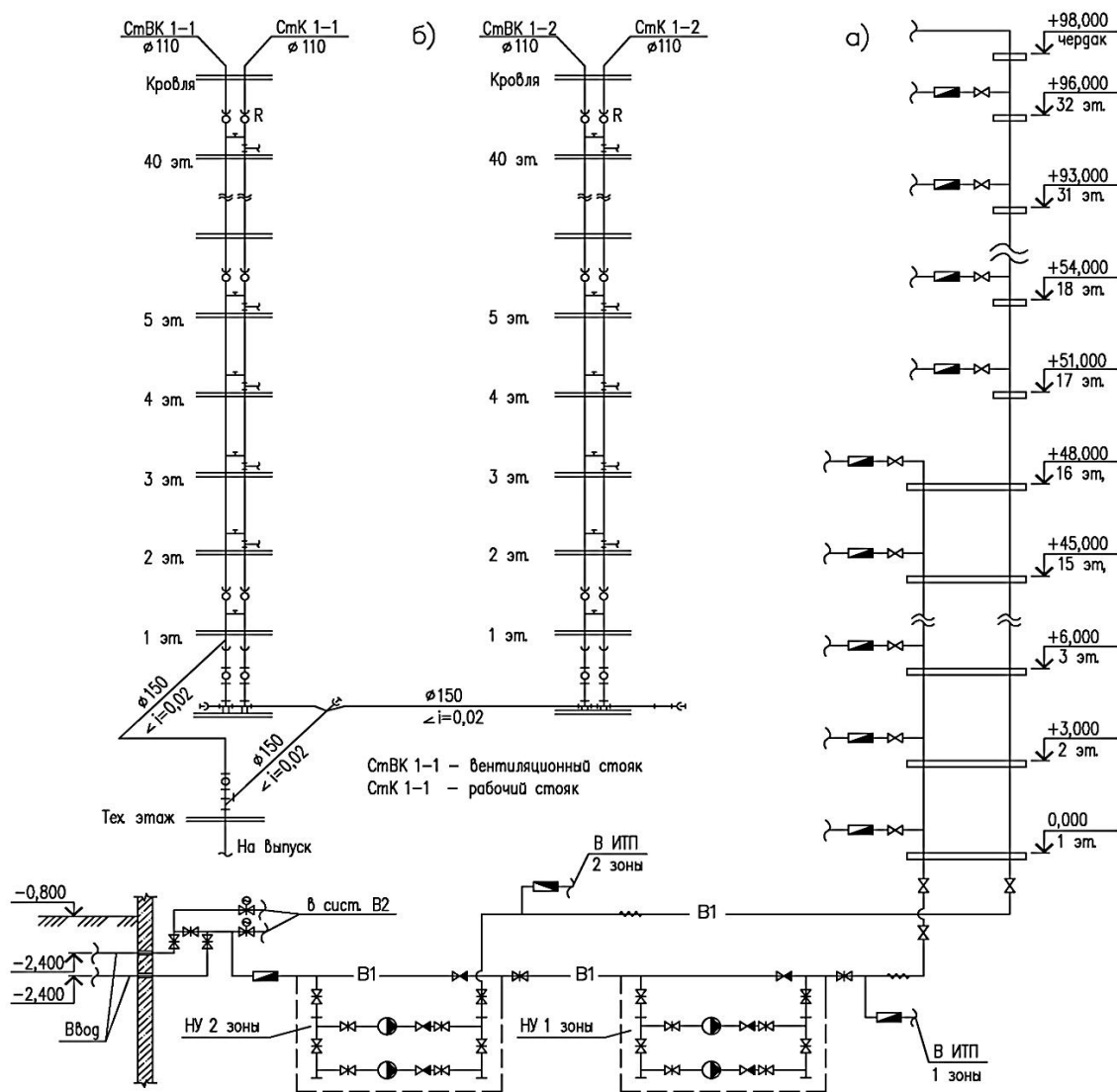


Рис. 2. а) принципиальная схема водоснабжения высотного дома; б) принципиальная схема канализации с использованием парных стояков

При проектировании систем канализации необходимо предотвратить срыв гидрозатворов у санитарных приборов. В условиях высотного строительства это требует дополнительных расчетов на пропуск по стокам канализации. С увеличением расхода жидкости уменьшается площадь живого сечения воздуха в сжатом сечении стояка и, следовательно, уменьшается расход воздуха, фактически поступающего в стояк из атмосферы. При этом с увеличением расхода жидкости увеличивается величина ее



эжектирующей способности и дефицит воздуха в стояке. Наконец, при критической величине расхода жидкости в стояке возникает максимальное разрежение и происходит срыв гидрозатвора у одного из санитарно-технических приборов, присоединенных к сточному стояку. Через сорванный гидрозатвор в стояк поступает дополнительное количество воздуха, поэтому гидрозатворы у других приборов остаются в неприкосновенности [4].

Специально выполненные исследования [4] показывают, что срыв гидравлического затвора происходит при разрежении, примерно равном высоте этого гидрозатвора. Величина разрежений в стояке складывается из разрежений, возникающих ниже сжатого сечения стояка, и потерь напора воздушной струи, поступающей из атмосферы в стояк при опускном движении жидкости.

На основании этих исследований величину разрежений в канализационном стояке  $\Delta p$ , мм вод. ст., можно рассчитать по формуле:

$$\Delta p = \frac{366 \left( \frac{q^s}{(1 + \cos \alpha) D_{\text{ст}}^2} \right)^{1.667}}{\left( \frac{D_{\text{ст}}}{d_{\text{отв}}} \right)^{0.71} \left( \frac{90 D_{\text{ст}}}{L_{\text{ст}}} \right)^{0.5}}, \quad (1)$$

где  $q^s$  – расчетный расход сточной жидкости, м<sup>3</sup>/с;

$\alpha$  – угол присоединения поэтажного отвода к стояку, град;

$D_{\text{ст}}$  – расчетный (внутренний) диаметр стояка, м;

$d_{\text{отв}}$  – расчетный (внутренний) диаметр поэтажного отвода, м;

$L_{\text{ст}}$  – рабочая высота канализационного стояка (в случае  $L_{\text{ст}} \geq 90 D_{\text{ст}}$  следует принимать  $L_{\text{ст}} = 90 D_{\text{ст}}$ ), м.

**Таблица 1**

**Результаты расчета величины канализационного разрежения 30-этажного дома**

Диаметр стояка, м	Величина разрежения- $\Delta p$ , мм. вод. ст.	Скорость жидкости, м/с	Скорость воздуха, м/с	Общие потери, мм	Сумма разрежений, мм
1	2	3	4	5	6
0,110	38,66	0,50	2,29	30,58	69,24
0,125	35,22	0,39	2,18	26,18	61,40
0,160	29,31	0,24	1,99	19,47	48,78
0,200	24,74	0,15	1,84	15,05	39,79

В таблице 1 наглядно представлены результаты расчета величины канализационного разрежения с учетом потерь на трение, рассчитанных по [5], и местных сопротивлений (приняты в размере 30% от потерь на трение) по максимально нагруженному стояку в 30-этажном жилом доме эконом-класса. Расчет производился при величине расчетного расхода самого нагруженного стояка (150 приборов)  $q^s = 4,28$  л/с, к монтажу приняты

полипропиленовые трубы по ГОСТ 32414-2013, наружный диаметр поэтажного отвода 110 мм, угол присоединения поэтажных отводов равен 45°.

Из графы 6 таблицы 1 видно, что при диаметрах стояка 110 и 125 мм суммарная величина разрежений превышает минимальную высоту гидравлического затвора санитарно-технического прибора – 55 мм, следовательно, произойдет срыв гидрозатвора. При диаметрах 160 и 200 мм можно гарантировать устойчивость против срыва гидрозатворов в данной системе канализации.

#### **Библиографический список**

1. МГСН 4.19-2005 «Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве».
2. СП 10.13130.2009 «Системы противопожарной защиты».
3. СП 30.13330.2012 «Внутренний водопровод и канализация зданий».
4. Бродач М.М., Инженерное оборудование высотных зданий, М.:АВОК-ПРЕСС,2007.-320 с.
5. Рысин С. А. Вентиляционные установки машиностроительных заводов (справочник). М., Машиздат, 1961.

**II Международная конференция  
«Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур»**

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАЩИТНЫХ  
СООРУЖЕНИЙ ГРАЖДАНСКОЙ  
ОБОРОНЫ**

*Беляков В.А.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
[belyakow@rambler.ru](mailto:belyakow@rambler.ru)

*Руднов В.С.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

26-27 июня 2016 года,  
Екатеринбург, Россия

Защитное сооружение гражданской обороны – это инженерное сооружение, предназначенное для укрытия людей, техники и имущества от опасностей, возникающих в результате последствий аварий и катастроф на потенциально опасных объектах, либо стихийных бедствий в районах размещения этих объектов, а также от воздействия современных средств поражения [1-4].

Защитные сооружения подразделяются на убежища, защищающие от всех средств массового поражения, и противорадиационные укрытия (ПРУ), надежно защищающие от ионизирующего излучения при радиоактивном заражении местности, а также частично от других поражающих факторов ядерного взрыва [5]. Большинство объектов гражданской обороны возводились на предприятиях в эпоху СССР в послевоенный период или в период, так называемой, «холодной войны» – 50–80-е годы. В системе гражданской обороны СССР, благодаря плановой экономике, был создан значительный задел в организации учета, строительства и ремонта фонда ЗС ГО, вследствие чего после распада Советского Союза в собственности Российской Федерации оказался комплекс сооружений, позволяющий обеспечить укрытие населения в военное время [6].

Однако сложившийся в 90-х годах прошлого века затяжной экономический кризис, перевод предприятий в частные и акционерные виды собственности, а также ослабление внимания к вопросам организации гражданской обороны страны со стороны государства ухудшило положение дел с имуществом ГО [7].

Сохранившиеся и вновь построенные в нашей стране защитные сооружения должны обеспечивать, в первую очередь, укрытие и защиту населения от опасных факторов природного и техногенного характера, а также от возможных террористических угроз в населенных пунктах и на потенциально-опасных объектах инфраструктуры и экономики [8-10]. Поэтому эксплуатация фонда защитных сооружений в XXI веке остается актуальным вопросом в области безопасности населения и объектов экономики в нашей стране.

Ранее специалистами Строительного института Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина совместно с Уральским филиалом ФГБУ ВНИИ ГОЧС и обследовано несколько десятков защитных сооружений в УрФО, расположенных на объектах транспортных предприятий в Свердловской, Тюменской областях и Пермского Края. Защитные сооружения представляют собой убежища и противорадиационные укрытия (ПРУ) встроенного типа или отдельно стоящие, вместимостью от 25 до 300 человек. Годы постройки сооружений 60–80-е года прошлого века.

В большинстве сооружений на момент проведения обследования полностью или частично отсутствовала проектно-техническая и эксплуатационная документация.

В ходе обследования кроме визуального осмотра несущих и ограждающих конструкций и выполнения обмерочных работ, проводилось детальное инструментальное обследование отдельных конструктивных элементов, выполнялись необходимые поверочные расчеты, проводилось детальное обследование систем жизнеобеспечения. Оценка технического состояния защитного сооружения проводили в соответствии с СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений» и ГОСТ 31937-2011, с присвоением категории технического состояния.

При обследовании использовали модернизированный мобильно-диагностический комплекс ММДК-П, стоящий на вооружении ФГБУ ВНИИ ГОЧС МЧС России.

По результатам обследования строительных конструкций защитных сооружений более половины отнесены к категории «аварийные», а остальные в большинстве случаев – к категории «ограниченно-работоспособные». Большинство сооружений не готовы к приему укрываемых. Сооружения находятся в запущенном состоянии, зачастую затопленном состоянии, герметичность сооружений не соответствует требованиям, а прочность несущих конструкций не достаточна для восприятия расчетных нагрузок, в частности действия взрывной волны. Металлические конструкции сооружений имеют сплошные следы глубокой коррозии. Многие противовзрывные устройства устарели и подлежат замене, т.е. не обеспечивают надежного отсекаания ударной волны с большой продолжительностью в фазе сжатия. Фильтровентиляционное оборудование и средства индивидуальной защиты укрываемых выработали свой ресурс и требуют замены.

На сегодняшний день основные проблемные вопросы по защитным сооружениям, на наш взгляд, следующие:

- существующий фонд ЗС ГО возводился большей частью во времена СССР, и не удовлетворяет современным требованиям СНиП II-II-77\* «Защитные сооружения гражданской обороны» в части обеспечения безопасности укрываемых в защитном сооружении [2];
- большая часть ЗС ГО числится бесхозной (по данным проведенных территориальными органами МЧС России инвентаризаций имущества ГО в 2001 и 2006 годах) [6];
- многие ЗС ГО характеризуются низкой степенью готовности к укрытию людей в условиях военного времени, а также в условиях чрезвычайных ситуаций мирного времени [7]. Не во всех ЗС ГО соблюдаются требования "Порядка содержания и использования ЗС ГО в мирное время", т.е. не поддерживаются в исправном состоянии специальное оборудование, средства связи и оповещения ЗС ГО;
- строительные конструкции защитных сооружений, оборудование и средства защиты в большинстве случаев выработали свой ресурс и не пригодны для использования по

назначению. Как правило, большинству сооружений требуется текущий или капитальный ремонт, а также переоснащение оборудованием и средствами защиты;

- зачастую отсутствует либо утрачена проектно-техническая и эксплуатационная документация на объекты ЗС ГО;
- отсутствует со стороны государства должный контроль и надзор за поддержанием в готовности фонда ЗС ГО.

Требуется осуществить следующий комплекс мероприятий для сохранения и совершенствования существующего фонда защитных сооружений:

- провести тотальную инвентаризацию и занести все имеющиеся в стране защитные сооружения в единый реестр, с указанием собственников или организаций, ответственных за эксплуатацию защитных сооружений;
- создать, вести и совершенствовать электронную базу данных ЗС ГО, поддерживать ее в актуальном состоянии;
- проработать вопрос о достаточности количества имеющихся ЗС ГО, их технического состояния и при необходимости запланировать строительство новых сооружений. Сооружения, находящиеся в аварийном состоянии должны быть списаны и демонтированы в соответствии с действующим законодательством;
- создать нормативно-правовую базу в области проектирования, строительства, эксплуатации и списания защитных сооружений, а также нормативно-правовую базу в области контроля и надзора за состоянием убежищ и противорадиационных укрытий;
- на законодательном уровне определить права, обязанности и ответственность хозяйствующих субъектов, эксплуатирующих защитные сооружения и поддерживающих их в готовности;
- провести текущий или капитальный ремонт строительных конструкций и оборудования защитных сооружений, произвести при необходимости дооснащение инвентарем и средствами индивидуальной защиты. Работы должны быть проведены с привлечением сил и средств организаций собственников ответственных за их эксплуатацию.

Своевременное решение этих вопросов поможет сохранить имеющиеся ЗС ГО, и создать в конечном итоге актуальный для экономики нашей страны фонд защитных сооружений в соответствии с современными требованиями и поддерживать его в готовности для защиты населения от возможных чрезвычайных ситуаций в мирное и военное время.

#### **Библиографический список**

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 23.04.1994 № 359 "Об утверждении положения о порядке использования объектов и имущества гражданской обороны приватизированными предприятиями, учреждениями и организациями".

2. СП 88.13330.2014 Защитные сооружения гражданской обороны. Актуализированная редакция СНиП II-П-77\*.
3. Федеральный закон от 12.02.1998 № 28-ФЗ "О гражданской обороне" (в редакции от 22.08.2004).
4. Федеральный закон от 09.01.1996 № 3-ФЗ "О радиационной безопасности населения" (в редакции от 22.08.2004).
5. Справочник по гражданской обороне. – М.: Воениздат, 1978. – 384 с.
6. Некоторые проблемы поддержания в готовности фонда защитных сооружений гражданской обороны. Д.В. Степаненко, П.А. Князев. – Технологии техносферной безопасности, №6 (28), 2009 г. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2009-6/11-06-09.ttb.pdf> (дата обращения 08.05.2016).
7. Система поддержания в готовности защитных сооружений гражданской обороны, а также запасов средств индивидуальной защиты, приборов радиационной и химической разведки // Отчет о ОКР. - М.: ВНИИ ГОЧС, 2006. - 245 с.
8. Методика оценки инженерной обстановки после воздействия обычных средств поражения в городе и на объектах народного хозяйства. – М., 1990.

**II Международная конференция  
«Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур»**

**ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ФИЗКУЛЬТУРНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНЫХ  
КОМПЛЕКСОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПО  
ТИПОВЫМ ПРОЕКТАМ**

*Бернгардт К.В.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
kvbern@mail.ru

*Хозяинова Т.К.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
hozainova-208@yandex.ru

**26-27 июня 2016 года,  
Екатеринбург, Россия**



Социальная составляющая все больше занимает приоритетные позиции во внутренней политике нашего государства. Для вовлечения горожан в различные виды занятий физической культурой и массовым спортом в спортивных сооружениях, расположенных в микрорайонах жилых кварталов города Екатеринбурга, в 2004 году Администрацией города Екатеринбурга был принят стратегический проект «Стадион во дворе» (далее – СП «Стадион во дворе»), а механизмом реализации СП «Стадион во дворе» стали Программы развития физической культуры и спорта в городе Екатеринбурге [1]. Исполняя задачу СП «Стадион во дворе» по расширению сети физкультурно-оздоровительных комплексов, за период 2004-2016 гг. в Екатеринбурге было построено и введено в эксплуатацию (из общего числа введенных в эксплуатацию спортивных объектов) семь муниципальных физкультурно-оздоровительных комплексов (далее – ФОК) со спортивными залами в каждом районе города и два ФОКа с ледовой ареной.

Строительство ФОКов осуществлялось по типовым проектам. Безусловно, типовые проекты – это лучшие из аналогичных по назначению и основным параметрам проектные решения спортивных сооружений, утвержденные в соответствующем порядке для многократного применения в строительстве. Очевидны положительные моменты при типовом проектировании, чем при сооружении объектов по индивидуальным проектам. Такими плюсами является существенные сокращения сроков, стоимости и трудоемкости проектных работ и строительства. Вместе с тем, после ввода в эксплуатацию зданий ФОКов выявляются различные проблемы, с которыми сталкиваются руководители муниципальных учреждений на чьем балансе находятся ФОКи.

Целью данной работы является выявление проблем эксплуатации ФОКов, строительство которых осуществлялось по типовым проектам.

В опросе по выявлению проблем эксплуатации зданий участвовали руководители девяти муниципальных учреждений (табл. 1).

Таблица 1

## Строительство ФОКов по типовым проектам в городе Екатеринбурге

№ п/п	Год ввода в эксплуатацию	Наименование объекта	Адрес объекта	Район
1	2006	ФОК МБОУ ДО ДЮСШ «Виктория»	ул. Ленина, 68г	Кировский
2	2007	ФОК МБОУ ДО ДЮСШ «Росток»	ул. Большакова, 15а	Октябрьский
3	2008	ФОК МБОУ ДО ДЮСШ № 19 «Школьный стадион»	ул. Шефская, 64а	Орджоникидзевский
4	2009	ФОК «Чкаловский»	ул. Санаторная, 24а	Чкаловский
5	2010	ФОК «Верх-Исетский»	ул. Опалихинская, 23а	Верх-Исетский
6	2011	ФОК «Железнодорожный»	ул. Техническая, 16а	Железнодорожный
7	2012	ФОК «Соболь»	ул. Постовского, 11	Ленинский
8	2013	ФОК «Айс» с ледовой ареной	ул. Щербакова, 2д	Чкаловский
9	2014	ФОК «Факел» с ледовой ареной	ул. Латвийская, 35	Октябрьский

Руководителям учреждений был задан вопрос: после сдачи ФОКа в эксплуатацию выявляется ряд проблем, которые можно было бы избежать на стадии проектирования ФОКов. Какие это проблемы и какие бы Вы дали рекомендации или предложения в дальнейшем при проектировании подобных ФОКов?

Анализируя и обобщая ответы руководителей можно выделить ряд типичных проблем, присущих ФОКа, связанных с особенностями проектирования зданий, качеству их возведения и в последующей их эксплуатации:

#### 1. Архитектурные решения:

- увеличить площадь фойе, спортивных залов; увеличить количество раздевалок;
- у входной группы в здание всего одна дверь, что значительно осложняет пропускной режим, особенно при проведении массовых мероприятий;
- одного туалета в холле недостаточно при наплыве посетителей в пиковые часы и при проведении массовых мероприятий;
- балкон для болельщиков не приспособлен, нет трибун, его конструкция по проекту позволяет единовременную нагрузку до 100 человек;
- окна на балконе многофункционального зала маленькие по размеру и не открываются, что сказывается на естественной освещенности и затрудняет процессы естественной вентиляции помещений, т.е. предусмотреть на балконе в большом зале фрамуги;
- отсутствует помещение для судей и организаторов соревнований;
- отсутствуют помещения мастерских и кладовок: по этой причине приходится переводить подвальные в складские и оборудовать их системой пожарной сигнализации, оповещения людей о пожаре, пожарной-вытяжной вентиляцией;
- требуется добавить мест для хранения габаритного инвентаря в большом зале (необходимо при трансформации зала под разные виды спорта);
- на этажах нет технических помещений, что в свою очередь очень осложняет уборку ФОКа;
- предусмотреть помещение под обеденную зону (для детей, судей и сотрудников);
- расширить площади, прилегающих территорий под парковку;
- по вентиляции: а) приточная вентиляция ПЗ, П4 (тренажёрные залы, административные помещения): не предусмотрена рециркуляция воздуха, что в зимнее время года очень актуально; б) вытяжная вентиляция В1, В2, В3, В4 (спортзал, санузлы и душевые, тренажёрные залы, административные помещения): не оборудованы автоматикой включения-выключения;

- по доступности ФОКа для граждан с ограниченными возможностями: а) вход не оборудован согласно норм и правил; б) санузлы не оборудованы устройствами для маломобильных групп населения; в) для колясочников доступен только первый этаж; г) для слабовидящих ФОК не доступен.

**2. Конструктивные решения:**

- плохая гидроизоляция в душевых комнатах между 2 и 3 этажами;
- в дождь и межсезонье протекает крыша, заливает игровой зал, а также затапливает подвальное помещение (отметка ниже 0,00 м), т.к. вход расположен под эвакуационной лестницей, а та в свою очередь не оборудована козырьком и вся вода льётся на вход в подвал;
- в шахту пожарной вытяжки попадают осадки;
- заменить конструктив крепления крыши – существующий допускает протечки;
- после 4 лет эксплуатации, вследствие коррозии началось разрушение труб ХВС и ГВС, поэтому предлагается вместо металлических труб использовать полипропиленовые армированные трубы;
- холодильные установки нужно проектировать так, чтобы уровень шума в квартирах домов рядом с ФОК не превышал допустимых норм (проект нужно согласовывать с Центром гигиены и эпидемиологии в Свердловской области);
- с КТП (телопункт) на холодильную установку должно прокладываться 2 кабельные линии с разных вводов (так как при повреждении кабеля 0,4 кВ работа ФОК в плане оказания услуг по ледовой арене прекращается).

Вывод: цель достигнута – выявлены проблемы эксплуатации ФОКов, строительство которых осуществлялось по типовым проектам. Далее, требуется детальное рассмотрение каждой из проблем, определение причин их возникновения и вариантов их возможного решения, что также планируется выполнить авторами данной работы в перспективе.

**Библиографический список**

1. Стадион во дворе: Стратегический проект / Администрация города Екатеринбурга. – Екатеринбург: Издательство АМБ. 2015. – 54 с.

**УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ГОРЯЧЕЙ  
ВОДЫ В ЗАКРЫТЫХ СИСТЕМАХ ГВС  
ПОДВЕРЖЕННЫХ КИСЛОРОДНОЙ  
КОРРОЗИИ**

*Браяловский Г.Б.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург  
bgb@rambler.ru

*Мигалатий Е.В.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург  
bgb@rambler.ru

*Насчетникова О.Б.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург  
bgb@rambler.ru

С 1 января 2013 года вступили в силу поправки в федеральный закон от 27 июля 2010 года № 190-ФЗ «О теплоснабжении». Одна из самых значимых – дополнения статьи 29 частью 8: с 1 января 2013 года подключение объектов капитального строительства потребителей к централизованным открытым системам теплоснабжения (горячего водоснабжения) для нужд горячего водоснабжения, осуществляемого путем отбора теплоносителя на нужды горячего водоснабжения, не допускается. Кроме этого с 1 января 2022 года использование централизованных открытых систем теплоснабжения (горячего водоснабжения) для нужд горячего водоснабжения, осуществляемого путем отбора теплоносителя на нужды горячего водоснабжения, не допускается.

Открытая схема горячего водоснабжения предполагает, что горячую воду жители берут на свои нужды из системы теплоснабжения, а закрытая система ГВС предполагает наличие особого оборудования для подогрева холодной воды и поставки ее жителям дома в качестве горячей. Система теплоснабжения работает в этом случае автономно.

Открытый разбор горячей воды из системы теплоснабжения стал большой проблемой для энергетиков по всей России – сегодня не менее 70 % жилых домов осуществляют горячее водоснабжение именно так.

Эксперты предупреждают, поставленная задача поистине революционна, масштабна и несет с собой много сопутствующих проблем, которые также надо будет решить, но это пока не обозначено законодателем.

При открытой системе весь теплоноситель проходит обязательную водоподготовку на теплоисточнике – котельной или ТЭЦ [1]. Холодная вода, перед тем как стать теплоносителем, как правило, требует снижения жесткости во избежание возникновения накипи при ее нагреве в котлах. При отсутствии водоподготовки жесткая вода способна вывести из строя целую котельную за считанные месяцы. Поэтому на любом теплоисточнике уделяется большое внимание соблюдению водно-химического режима. На водоподготовку тратятся реагенты (поваренная соль или серная кислота), электроэнергия для подачи воды, проведения регламентных работ по обслуживанию фильтров, расходуются средства на текущую эксплуатацию и ремонт оборудования. При закрытой схеме всего этого не будет, но использование неподготовленной воды несет ряд проблем. Ведь, например, если вода обладает повышенной жёсткостью, то при ее нагреве в теплообменнике происходит интенсивное образование трудноудаляемой накипи.

Решение проблемы подготовки воды при переходе от открытой к закрытой схеме ГВС переместилось от генерирующих объектов к потребителям горячей воды (управляющим компаниям и ТСЖ). Теперь это уже не единый укрупненный комплекс, а множество локальных установок, которые надо обслуживать, нести затраты на реагенты и

обслуживающий персонал. Есть еще один фактор – уровень обслуживания систем и оборудования. Организациям, обслуживающим внутренние системы зданий, очень сложно обеспечить должный уровень эксплуатации энергетического оборудования (система водоподготовки, теплообменные аппараты, автоматика для поддержания необходимых параметров воды).

В г. Екатеринбурге закрытые системы ГВС внедряются повсеместно на новых объектах более 15 лет. Опыт эксплуатации данных систем позволил выявить проблемы данных инженерных сетей.

Специфика Екатеринбургской водопроводной воды состоит в том, что при относительно невысокой жесткости (не более 2 мг-экв/л) содержание растворенного кислорода может достигать 10 мг/л вследствие того, что она готовится из поверхностных источников без процедур деаэрации. Такая вода, нагреваясь, приводит к интенсивной кислородной коррозии трубопроводов и арматуры ГВС. Результатом этой коррозии являются прочные, пористые железисто-кальциевые осадки на поверхности теплообменников и трубопроводов, которые чрезвычайно трудно растворить даже серной кислотой [2]. Горячая вода у потребителя насыщается гидроксидом железа (продуктом коррозии), становится желтого цвета, зачастую имеет неприятный запах.

Чтобы избежать данные последствия внедрения закрытых ГВС нужно полностью менять стальные водоводы горячей воды на полимерные или нержавеющие. Расчеты показывают, что это крайне дорогостоящие мероприятия, поэтому актуальными становятся поиски решений продления службы трубопроводов ГВС с сохранением нормативного качества воды в кране у потребителя.

На кафедре Водного хозяйства и Технологии воды Уральского Федерального Университета совместно с ООО «БМБ» проблемой сохранения качества горячей воды занимались в течение нескольких лет.

В ходе решения данной проблемы была создана технология «Акварос» предотвращения возникновения осадка в закрытых системах ГВС специально для городской воды г. Екатеринбурга. Суть технологии заключается в установке специального фильтра после теплообменного оборудования в помещении теплового пункта. При этом монтируется дополнительный насос для увеличения циркуляции горячей воды со скоростью 1–2 м/с. Весь шлам, циркулирующий в системе ГВС, задерживается в толще фильтрующих элементов. Результаты внедрения технологии можно посмотреть на рисунке.

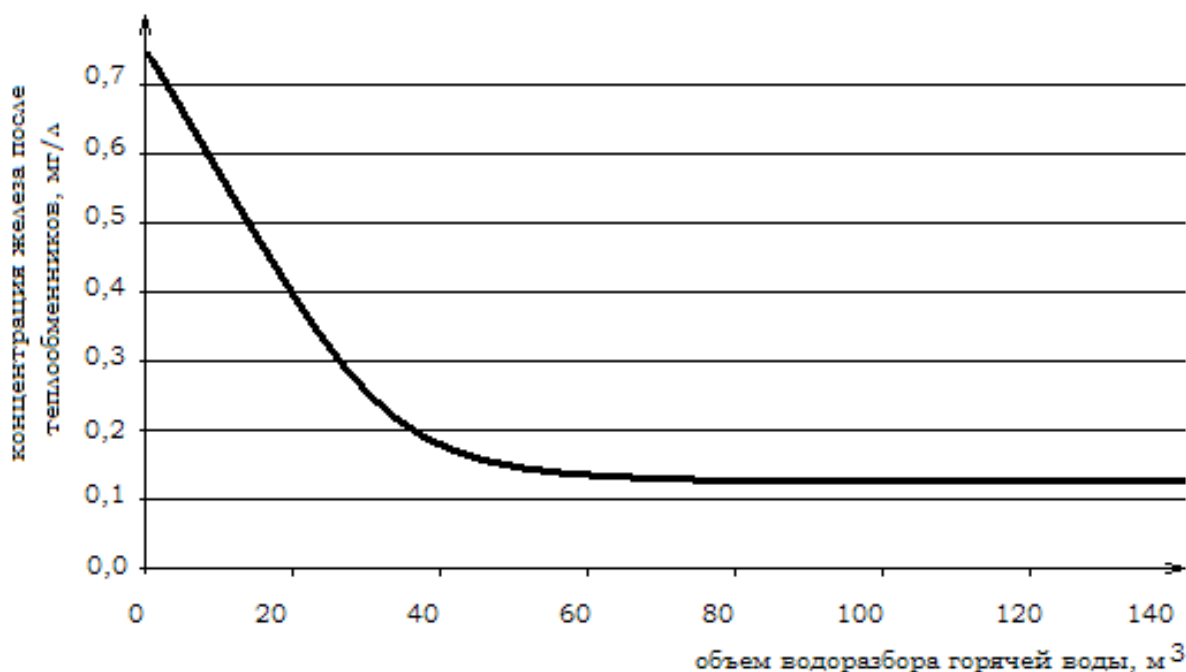


Рисунок. Зависимость содержания железа после теплообменников в системе горячего водоснабжения от объема водоразбора, после внедрения технологии «Акварос» в многоквартирном доме

Как видно из рис., после внедрения технологии, уже после разбора 60 куб. метров горячей воды содержание железа после теплообменников снижается до 0,12 мг/л и остается на этом уровне. В результате происходит снижение скорости образования железистых отложений на внутренних поверхностях трубопроводов и теплообменных элементах системы горячего водоснабжения. Установка «Акварос» монтируется непосредственно вблизи теплообменного оборудования, занимает не более 2 м<sup>2</sup> площади, и в результате ее работы, за довольно короткое время, вода в кране у потребителя становится прозрачной, с хорошими органолептическими показателями.

#### Библиографический список

1. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка. Учебное пособие. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 256 с.
2. Акользин А.П., Жуков А.П. Кислородная коррозия оборудования химических производств. М.: Химия, 1985 – 240 с.

## **ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ УСИЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПОСЛЕ ПОЖАРОВ**

*Волошин Д.И.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
den.volosh@mail.ru

*Ямов В.И.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
stroypolytech@gmail.com



На протяжении последнего десятилетия после многочисленных пожаров в жилых и общественных зданиях, интерес при проектировании конструкций подверженных высоким температурам возрос. В следствии, происходит отрицательное комбинированное воздействие на человека удушающих и отравляющих газов в процессе горения, а так же воздействие повышенных температур.

Основные причины большого количества пожаров являются аварийное состояние жилищного фонда Российской Федерации, а так же отсутствие необходимой системы оповещений о пожаре.

Большому влиянию высоких температур при пожаре в зданиях и сооружения подвержены строительные конструкции. В настоящее время в связи с возведением большого количества монолитных зданий и сооружений, именно железобетонные конструкции чаще всего подвержены разрушению под действием высоких температур горения. Бетон, один из самых распространенных строительных материалов, также является весьма огнестойким материалом. Он не горюч и обладает низкой теплопроводностью, а это означает, что необходимо много времени для того, чтобы огню повлиять на его несущую способность. Несмотря на это, в железобетонных конструкциях появляются такие признаки воздействия пожара на конструкцию как: трещины, отколы, оголение арматуры и смещение конструкций.

В связи с этим необходимо определить техническое состояние строительных конструкций и обосновать способы их усиления. Если данные действия не будут произведены, может произойти разрушение конструкций, приводящее к большим жертвам.

В настоящее время становится актуальным применение инновационных методов усиления строительных конструкций. Известно, что усиление железобетонных конструкций может осуществляться различными методами, которые принято делить на традиционные, инновационные и комбинированные. Наиболее подходящий метод определяется после проведения экспертизы объекта.

### **Традиционные методы**

К традиционным методам усиления строительных конструкций относятся:

- Обетонирование (нанесение слоя бетона с целью увеличения площади сечения и, как следствие, прочности конструкции);
- Усиление стальным прокатом (усиление швеллерами, уголками, усиление стен стальными тяжами и т.д.);
- Установка дополнительных несущих элементов (например, распорок при усилении колонн);

Традиционные методы трудоемкие, их надежность и эффективность часто не достигает нужного уровня, по сравнению с инновационными методами.

### Инновационные методы

К ним относят: усиление конструкций с помощью различных композитных материалов (например, углепластика), инъектирование, а также усиление преднапряжёнными канатами.

Усиление углепластиком – один из способов восстановления несущих строительных конструкций. При осуществлении работ данного типа используется материал на основе высокопрочных углеродных волокон [см. табл.1].

**Таблица 1**

**Физико-механические свойства углепластика**

Тип	Прочность на растяжение, МПа	Модуль упругости, ГПа	Деформация удлинения, %	Плотность, т/м <sup>3</sup>
Углерод высокопрочный	3400-3900	200-250	1,2-2,5	1,75-1,95
Углерод высокомодульный	2900-4000	300-700	0,45-1,2	1,75-1,95



Рис. 1. Усиление углепластиком колонны

Углепластик характеризуется высокой прочностью и не подвержен коррозии, что в сочетании с низким весом, обеспечивает неоспоримые преимущества по сравнению с металлом. В отличие от традиционных способов усиления, усиление углепластиками не увеличивает сечение усиливаемых элементов и их массу, что имеет важное значение при любом виде строительства. Принципиально, усиление углепластиками оправдано для конструкций любого вида и сечения. Основным недостатком усиления конструкций углепластиком является их высокая стоимость.

Инъектирование – современный способ восстановления трещин в бетонных конструкциях. Он заключается в заполнении трещин полимерными составами, при помощи специального оборудования. Заполнение трещин предотвращает процесс коррозии, от проникновения влаги и дальнейшего разрушения строительной конструкции. В качестве

заполнителя используются смеси на основе эпоксидных смол, полимерцементных составов и полиуретана. Эпоксидные смолы могут проникать в микроскопические трещины, раскрытие которых составляет менее 0,5 мм. Во время инъектирования полицементными материалами, специальный цементный раствор подается под давлением, что позволяет ему проникнуть во все сообщающиеся полости и поры, некоторые из которых могут быть скрыты и не обнаружены техническим обследованием.

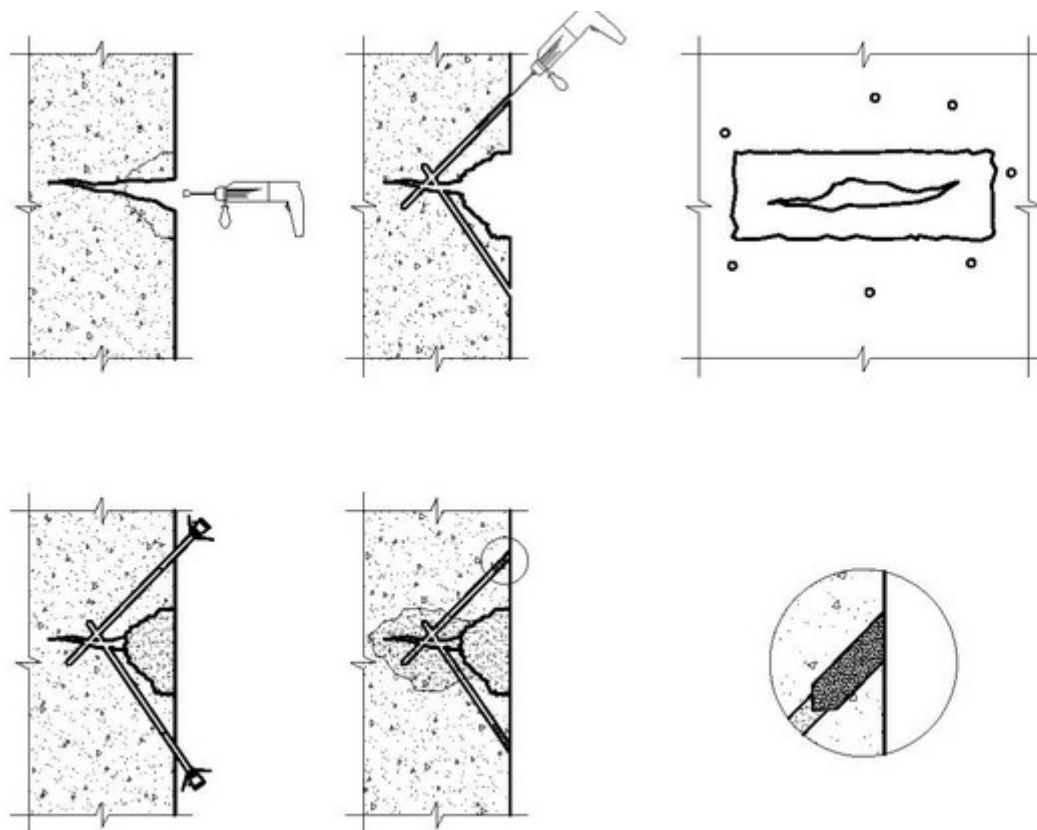


Рис. 2. Инъектирование бетонной поверхности

Усиление преднапряженными канатами – применяется преимущественно для укрепления перекрытий зданий. Суть метода заключается в использовании предварительно напряженных элементов (канатов), знак напряжения в которых противоположен знаку от эксплуатируемой нагрузки. Также метод эффективен при ремонте бетонных мостов.

Использование инновационных методов в сравнении с традиционными методами, увеличивают прочность и долговечность железобетонных конструкций, а также сокращает расходы на ремонт зданий и сроков выполнения работ. Именно экономичность инновационных методов восстановления строительных конструкций диктует их широкое применение в России, и за рубежом.

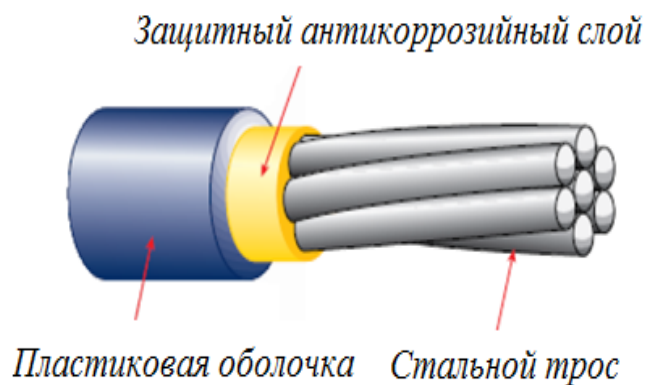


Рис. 3. Конструкция преднапряженного каната

#### **Библиографический список**

1. А.А. Шилин. В.А. Пшеничный, Д.В. Каргузов «Усиление железобетонных конструкций композитными материалами» / М.: ОАО «Издательство «Стройиздат», 2004. — 144 с:
2. В.Л.Чернявский «Современные материалы и технологии для ремонта и усиления конструкций мостов» / М.: «ИнтерАква»

**II Международная конференция  
«Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур»**

**НОВАТОРСТВО И ТРАДИЦИИ В  
УЧЕБНОМ АРХИТЕКТУРНОМ  
ПРОЕКТИРОВАНИИ**

*Грязнова Г.Г.*

Уральский государственный архитектурно-художественный университет,  
г. Екатеринбург,  
ggg-97@yandex.ru

*Колезнева И.В.*

Уральский государственный архитектурно-художественный университет,  
г. Екатеринбург

*Грязнова А.В.*

Уральский государственный архитектурно-художественный университет,  
г. Екатеринбург

**26-27 июня 2016 года,  
Екатеринбург, Россия**

Вопросы стратегического развития процессов планирования тесно связаны с новаторством, особенно в области архитектурного образования. Найти баланс между традиционными и инновационными аспектами процесса профессионального формирования молодого специалиста – основная задача, стоящая перед педагогами. Учебный процесс должен меняться и гибко реагировать на потребности сегодняшнего дня, но и нельзя забывать преимущества методик образования, отработанных несколькими поколениями преподавателей и студентов. Архитектурное образование на Урале почти за 70 лет существования претерпело серьезные перемены. Это и цифровые технологии, и рост информационной составляющей образования, и активная конкурсная (профессиональная) деятельность студентов, совмещенная с процессом обучения.

Традиционно важным элементом образования является процесс подготовки к вступительным испытаниям. Подготовительный курс объемно-пространственной композиции позволяет сформировать первичное представление о формировании объемно - пространственной и плоскостной структур, отвечающим требованиям композиционного моделирования. Архитектурно-пространственная композиция должна обладать качествами гармоничной формы: целостность, выразительность, тектоничность, устойчивость, динамичность, наличие композиционного центра или системы центров. Автор для создания архитектурного объекта использует средства композиции: ритм, метр, пропорции, подобие, масштабность и эргономичность. В процессе архитектурного проектирования мы можем определить композицию динамическую и статическую, предполагая, что в первом случае ярко выражено движение, оно направлено и организовано, четко прослеживается динамика развития формы, а во втором случае движение уравновешено, сбалансировано, происходит концентрация формообразования в единый центр. Данные базисные характеристики, которые позволяют выработать общий профессиональный язык общения студента и преподавателя. В процессе обучения вырабатывается представление о понятиях «объект» и «пространство», их взаимосвязи.

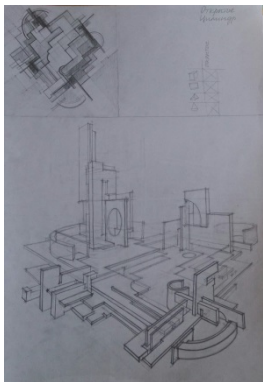


Рис.1 Фото автора

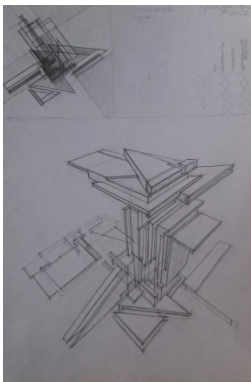


Рис.2 Фото автора

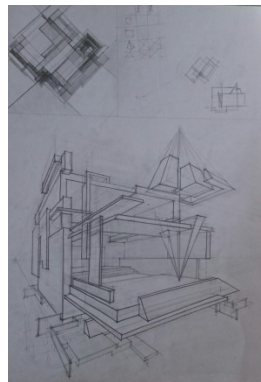


Рис.3 Фото автора

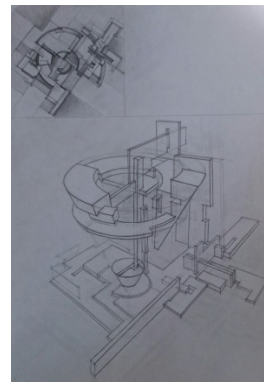


Рис.4 Фото автора



Виды пространственной композиции могут быть: открытое пространство, полуоткрытое пространство, закрытое пространство или пространственная форма. Начальный курс архитектурного проектирования позволяет развивать фантазию, творческие способности, пространственное мышление, дает возможность проектировать объект и отрабатывает навыки графической подачи (рис. 1-4).

Основное формирование профессиональных компетенций происходит в процессе обучения. В курсе «Архитектурное проектирование» первое задание состоит в знакомстве с несложным архитектурным объектом, реально существующим в городе Екатеринбург. Выполняются эскизные зарисовки объекта и его деталей, проводится анализ формы, пропорций, членений и конструктивного решения, формируется историческая справка, выполняются архитектурные чертежи объекта (рис. 5). Второе задание состоит в проектировании сооружения по прототипу в ходе макетного композиционного моделирования. Композиционная трансформация прототипа позволяет, используя элементы и детали объекта, создать новую архитектурную форму с иным функциональным назначением. Изменяя качества композиции: динамичность-статичность и массивность-ажурность возникает объект, отвечающий иным функциональным задачам. Например, ворота № 3 в Историческом сквере города Екатеринбург могут быть трансформированы в смотровую площадку на берегу озера Шарташ (Рис.6), которая позволит посетителям любоваться ландшафтом с повышенного уровня или укрыться от избыточной солнечной радиации или дождя.

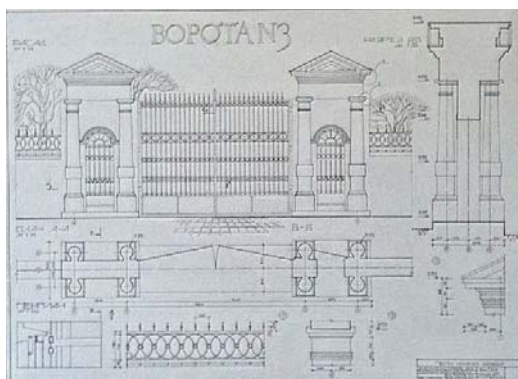


Рис.5 Фото автора



Рис.6 Фото автора

В ходе курсового проектирования на тему: «Организация открытого пространства» может быть проведена реконструкция внутри дворовых пространств. Проект был выполнен на основе реальной ситуации во дворе дома улицы Бебеля в г. Екатеринбург. Участок вытянут вдоль секционного дома, имеет активный рельеф, хорошую инсоляцию и защищен от ветра. Проблема заключается в том, что дети, катаясь с горок, перемещаясь между элементами игровой площадки, попадают на проезжую часть. Вдоль проезда и на тротуаре

припаркованы автомобили, которые затрудняют проезд и перекрывают обзор участникам дорожного движения, как пешеходам, так и автомобилистам. В ходе проектирования было предложено: разделить транспортные и людские потоки, используя рельеф; разместить паркинг на уровне земли; организовать вход в него со стороны подъездов; игровое пространство развить за счет использования трех уровней; возвести систему горок, лабиринтов и других игровых элементов (рис. 7, 8). Верхний игровой уровень приподнят над землей, что может служить укрытием играющих детей от дождя или избыточной инсоляции. Подпорная стена второго уровня может быть использована для стенографии. При дальнейшей работе над проектом, предполагалось перекрыть проезжую часть и создать галерейные переходы из подъездов непосредственно на игровые уровни.

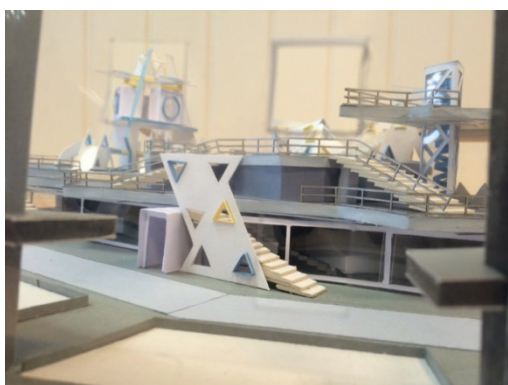


Рис.7 Фото автора

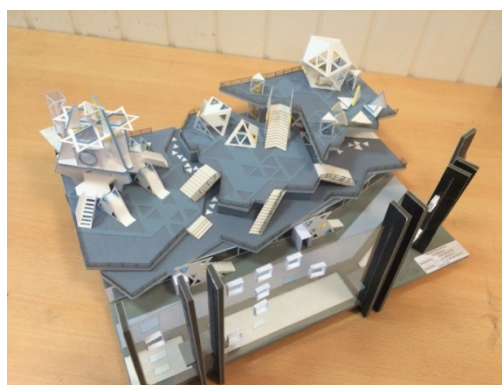


Рис.8 Фото автора

В процессе учебного архитектурного проектирования инновационная составляющая постоянно присутствует в решении поставленных задач, поскольку можно отметить повышение общего уровня информированности студентов и интенсификацию специализированной подготовки.

#### Библиографический список

1. Бархин Б.Г. Методика архитектурного проектирования: учебно- методическое пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1982. – 225 с.
2. Иовлев В.И. Введение в проектирование архитектурной среды: учеб. пособие. – Екатеринбург: УралГАХА, 2002. – 89 с.
3. Иовлев В.И. Макетирование в начальном ученом проектировании.- Свердловск: САИ, 1982. -20 с.
4. Стасюк Н.Г., Киселева Т.Ю., Орлова И.Г. Основы архитектурной композиции: учебное пособие. – М.:Архитектура-С, 2004. – 96 с.



**II Международная конференция  
«Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур»**

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО  
В РЕЗКО КОНТИНЕНТАЛЬНОМ КЛИМАТЕ**

*Губарева Ю.*

Всесоюзный научно-исследовательский институт металлургической  
теплотехники, г. Екатеринбург,  
ikim67@mail.ru

*Мальцева И.Н.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
3724316@mail.ru

**26-27 июня 2016 года,  
Екатеринбург, Россия**

Проектирование и строительство мультикомфортных домов – огромный шаг к устойчивому развитию нашей планеты. Рациональное проектирование с учетом внешних и внутренних факторов, проведение прогнозирования, исследование пространства позволяют возводить энергоэффективные и даже пассивные дома в суровых климатических условиях. Успешный опыт канадского и скандинавского строительства доказал возможность проектировать не только отдельные жилые дома, частные или многоквартирные, но и целые мультикомфортные кварталы, функционирующие как единое целое. Этим доказано, что реализация энергоэффективного строительства в резко континентальном климате реальна.

В данной статье рассмотрены все аспекты проектирования многофункционального квартала в г. Астане с высокоорганизованной средой обитания и жизнедеятельности человека (рис. 1). Данный проект был разработан как конкурсный в ходе подготовки к ЕКСПО-2017.



Рис. 1. Общий вид жилого квартала ЕЕСС, г. Астана, Казахстан

### Концепция

Издревле ритуал обустройства казахов в бескрайней степи начинался с очерчивания на земле круга. Концептуально олицетворяя круг как форму одуванчиков: нечто простое и легкое снаружи, но сложно организованное внутри. Именно поэтому при выборе формы организации пространства жилой плазы был выбран круг.

При проектировании учитывались следующие условия:

- компактность;
- ориентация по сторонам света;
- эффективные материалы;

- альтернативные источники энергии.

Проект получил название ЕЕСС, что является аббревиатурой к effective, ecological, comfortable, creative (эффективность, экологичность, комфорт, творчество), как четырех самых важных понятий в строительстве.



Рис. 2. Взрыв-схема жилой плазы квартала ЕЕСС, расположенного в г.Астане, Казахстан

Проектируемый жилой комплекс относится к жилой зоне режима пост-ЭКСПО 2017. Площадь участка составляет 3/1 га, на котором расположились 10 жилых домов с этажностью 6-8 этажей, комфортных для проживания 960 человек.

### **Общие архитектурные решения**

Комплекс «Астана ЭКСПО-2017» расположен между центром нового города (в 4 км от него) и аэропортом, в непосредственной близости от Назарбаев университета. Квартал, входящий в состав комплекса окружают: с юга – Буферный парк; с севера – крытая улица; с запада - жилой комплекс, который будет построен на территории выставки «Астана ЭКСПО -2017» после ее окончания; с востока - трехэтажная средняя общеобразовательная школа на 1200 учеников. На основании этих данных производился анализ пешеходных и транспортных путей (рис.3.).

Плаза комплекса представлена многоуровневой площадкой с возможностью входа жильцов и гостей в общественную зону, прокат, парковочные места. Форма плана здания имеет нелинейный характер, что обуславливает его компактность. Обтекаемость формы объясняется необходимостью ветрозащиты. Такая форма позволяет зонировать жилые здания на участке так, чтобы при композиционном расположении здания были

перпендикулярны друг другу, образуя прямой угол. При этом главные фасады ориентированы на внешнюю сторону участка, защищая тем самым жилую группу от ветровых и шумовых воздействий (рис. 3).



Рис.3. Прогнозирование ветрозащиты, пешеходных и транспортных магистралей в жилом комплексе ЕЕСС

Расположение зданий с другой стороны квартала замыкает пространство и формирует уютный внутренний, защищая тем самым жилую группу от ветровых и шумовых воздействий. Помимо этого, для предотвращения попадания бурных ветровых потоков на территорию квартала применим зеленые насаждения. Анализ ветрозащиты на территории квартала представлен на рис.3.

Архитектурное решение жилого комплекса удачно вписывается в общий облик микрорайона, расположенного в непосредственной близости от выставочного комплекса ЭКСПО – 2017 (рис. 4).

### Климат

Объект проектирования находится в столице Казахстана городе Астане с координатами: 51 10' северной ширины, 71 30' восточной долготы. Астана – город с резко континентальным климатом, занимающий 2-е место в списке самых холодных столиц мира.

Поэтому при разработке проекта особое внимание уделялось подбору материалов, инсоляции, анализу направления ветра.



Развертки жилой группы:



Рис.4. Жилой квартал ЕЕСС

Климатические характеристики:

- Абсолютный минимум температуры:  $-52^{\circ}\text{C}$ ;
- Абсолютный максимум температуры:  $+42^{\circ}\text{C}$ ;
- Расчетная температура наиболее холодных 5 суток:  $-36^{\circ}\text{C}$ ;
- Средняя температура во время отопительного сезона составляет  $-8,4^{\circ}\text{C}$ ;
- Расчетная длительность отопительного сезона – 216–229 дней;
- Зимний период характеризуется наиболее сильными ветрами;
- Количество ветреных дней в год – 280–300.

#### **Конструктивное решение**

В жилом доме расположено 30 квартир с площадями от 80 до 130 м<sup>2</sup>, первые два этажа частично отведены под общественные помещения – продуктовый магазин на первом этаже и небольшое кафе на втором. В связи со сложной формой здания и немалой этажностью предпочтение при выборе конструкций было отдано монолитному железобетону. Выбрана комбинированная конструктивная схема: каркасно-стенная. Несущими элементами являются колонны и стены. Монолитные железобетонные перекрытия с легкостью обеспечивают возможность устройства консольных участков.





Рис. 5. Вид на здание. Жилой квартал ЕЕСС, расположенный в г. Астане, Казахстан

Однако при монолитном домостроении огромное внимание стоит уделить звукоизоляции. Задача звукоизоляции помещения решена комплексно: установлена шумозащита не только по фасаду здания, но и на полах (плавающий пол), потолке и перегородках. Для снижения индекса ударного шума при устройстве опирания монолитных железобетонных лестничных площадок на несущие конструкции используем звукоизоляционные элементы «Shoock Tronsole».

#### **Энергосбережение и общая концепция устойчивого развития**

Одним из главных критериев при проектировании мультикомфортного дома является правильный подбор материалов. Применяем только экологически безупречные материалы. Тепловая оболочка выполнена с использованием материалов с очень низкой теплопроводностью. Общий коэффициент теплопроводности  $U = 0,088 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Обеспечиваем в здании замкнутый герметичный контур за счет отсутствия мостиков холода в узлах примыкания внутренних конструктивных элементов к тепловой оболочке здания. Небольшая площадь остекления фасада позволяет минимизировать теплопотери. Правильный выбор остекления – одна из самых важных задач по достижению энергоэффективности здания. Подобранные окна состоят из депозитного стекла, его главной особенностью является очень низкая теплоотдача,  $U_g = 0,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Камеры стеклопакета заполнены 100% криптоном. Оконные стекла выполнены с самоочищающимся покрытием, что позволяет сэкономить средства на мытье окон и улучшить их эксплуатационные качества.

Из технических методов энергосбережения в пассивном доме обязательным является использование системы приточно-вытяжной вентиляции с рекуперацией. Поэтому во всех жилых домах квартала используется механическая приточно-вытяжная система вентиляции с рекуперацией тепла с КПД = 91%. Она будет обеспечивать дом свежим воздухом, но в то же

время сохранять тепло удаляемого нагретого воздуха. Свежий воздух поступает в жилые комнаты и спальни, а переработанный удаляется из ванн, коридоров, кухонь (рис. 6).

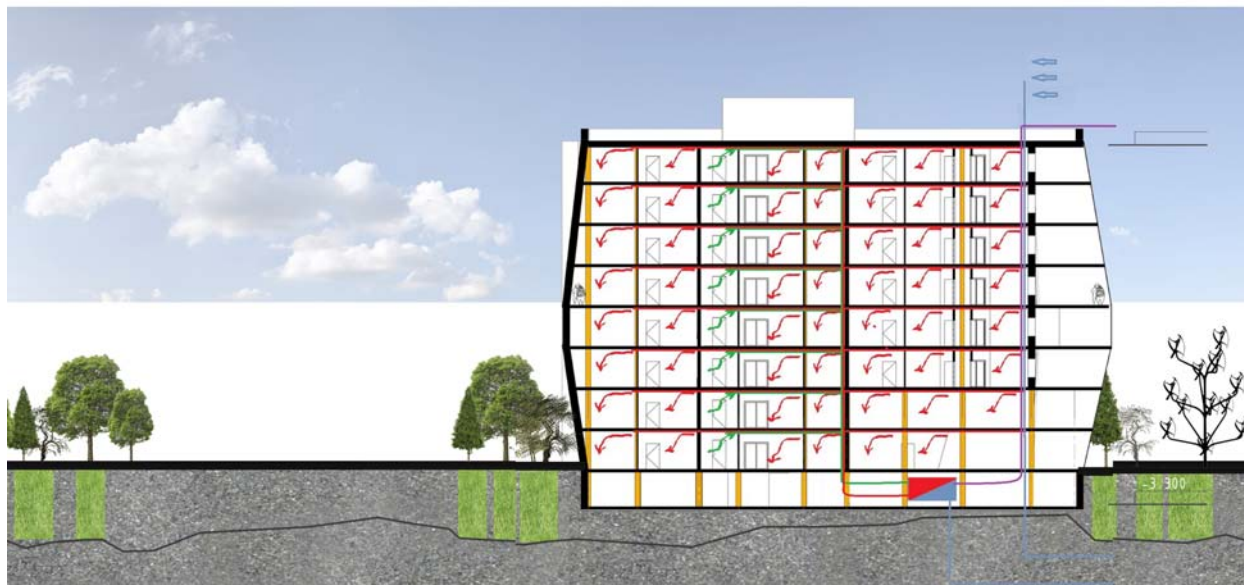


Рис. 6. Схема вентиляции в жилом доме. Жилой квартал ЕЕСС

Благодаря рекуперации, до 91% отводимого тепла остается в здании при постоянном воздухообмене. Грунтовый теплообменник повышает эффективность работы систем приточно-вытяжной вентиляции. Приточный воздух, проходя через уложенный в грунте трубопровод, предварительно нагревается до 9°C в зимний период или охлаждается до 14°C в летний период, что позволяет экономить энергию не только на отопление в зимний период, но и кондиционирование – в летний.

Геометрия здания (отклонение стен от вертикали), а так же современные разработки в области гелиоэнергетики позволяют вмонтировать солнечные панели непосредственно в наружную ограждающую конструкцию, не загромождая горизонтальные поверхности – кровлю. Солнечные панели расположились на южном фасаде здания, обладают высоким КПД, покрытием по методу PVD (адсорбция 94%).

Как известно, в Казахстане довольно ветрено, поэтому разумно использовать помимо солнечной энергии энергию ветра. Привычные трехлопастные ветряные установки занимают много места и требуют установки на безопасном расстоянии от зданий. Разработка ветровой турбины Эдди, расположенная на ветвях деревьев, решает эту проблему, а также создают эстетическую художественную инсталляцию. Ветви турбины упорядочены в форме спирали, что обеспечивает низкий шарнирный момент для самой высокой части турбины. Три турбины выполнены из углеродного волокна и стекловолокна. Тип ветровых турбин: URBAN GREEN ENERGY 4Kw. Номинальная мощность: 12kW. Годовая мощность при

средней скорости ветра 5м/с: 13 680 кВтч. Генерация шума при скорости ветра 12 м/с: 42/8 дБ. Пешеходная зона может также приносить полезную энергию. Умная тротуарная плитка способна превратить давление от нажатия на себя в 2/1 Втч полезной энергии, которая направляется в локальную электросеть. Кроме того, плитка подсвечивает пешеходам путь, на что тратится всего 5% выработанной энергии.



Рис. 7. Источники энергии жилого квартала ЕЕСС

Значения с привязкой к энергозависимой площади				
Энергозависимая площадь:	4950.0	м²		
Используется:	Месячный метод расчёта	Сертификат ПД:	Выполняется?	
Удел. расход тепла на отопление:	12 кВтч/(м²год)	15 кВтч/(м²год)	да	
Результат теста давлением воздуха:	0.6 ч⁻¹	0.6 ч⁻¹	да	
Удел. расход первичной энергии (ГВС, отопл., охлажд., эл. эн-я на вспом. и быт. нужды):	110 кВтч/(м²год)	120 кВтч/(м²год)	да	
Удел. расход первичной энергии (ГВС, отопление и вспомог. эл. энергия):	66 кВтч/(м²год)			
Удел. расход первич. энергии, сэкономленный за счет выработки эл. энергии от фотогальв. эл-тов:	24 кВтч/(м²год)			
Отоп. нагрузка:	9 Вт/м²			
Частота перегрева:	%	более 25 °C		
Удел. расход полезного холода:	3 кВтч/(м²год)	15 кВтч/(м²год)	да	
Холодильная нагрузка:	4 Вт/м²			

Рис. 8. Результаты расчетов в RHPP

Пункты сбора мусора оснащены солнечными батареями, энергия от которых направлена на механизмы, которые без участия человека уплотняют попадающий в контейнеры мусор, соответственно увеличивая его вместительность. Изобретение с названием Big Belly Bins имеет объем 800 л и могут вместить в 8 раз больше мусора, по сравнению с обычными контейнерами такого же размера. Ещё одно преимущество этих контейнеров состоит в том, что они снабжены SIM-картами. Благодаря этому,



мусоросборники могут отправлять оповещения обслуживающему персоналу о том, что контейнер почти полный.

### **Результаты расчетов**

Проектирование пассивного дома осуществлялось с использованием программы PHPP 2007. Результаты расчетов представлены на рис. 8 [1].

Таким образом, грамотный выбор решений при проектировании мультикомфортного жилого квартала в резко континентальном климате позволил обеспечить соответствие всем требуемым общемировым стандартам пассивного дома.

### **Библиографический список**

1. Вольфганг Файст. Основные положения по проектированию пассивных домов/ Вольфганг Файст (перевод с немецкого с дополнениями под редакцией А. Е. Елохова). М.: Изд-во АСВ, 2011.
2. СП 13330-2012. Актуализированная версия СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий».
3. Основы теории градостроительства /З.Н. Яргина, Я.В. Косицкий, В.В. Владимиров [и др.]; под редакцией З.Н. Яргиной. – М., Стройиздат, 1986.
4. Ivor Richard. T.R. Ramzah & Yeang: Ecology of the Sky Victoria. IPG, 2001
5. Гельфонд А.Л. Районы завтрашнего дня // Российский строительный комплекс, 2011. №5. С.170-172.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАБИНЫ ЛОКОМОТИВА**

*Емельянов И.Г.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург  
Институт машиноведения УрО РАН, г. Екатеринбург,  
[emelyanov@imach.uran.ru](mailto:emelyanov@imach.uran.ru)

*Миронов В.И.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург  
Институт машиноведения УрО РАН, г. Екатеринбург

*Кузнецов А.В.*

Институт машиноведения УрО РАН, г. Екатеринбург

Эксплуатационная надежность и прочность элементов подвижного состава должны обеспечивать безопасность движения, в том числе и при экстремальных условиях эксплуатации – возможных столкновениях состава с различными препятствиями. При столкновении самым нагруженным элементом состава является кабина локомотива, на которую приходится удар. При проектировании кабин ориентируются на статистические данные произошедших аварий. Возможные тестовые сценарии столкновения, основанные на результатах анализа статистических данных об аварийных столкновениях, приведены в Стандарте EN 15227:2008 [1]. В данном документе определены такие тестовые сценарии как лобовое столкновение двух идентичных поездных составов со скоростью 36 км/ч, столкновение поездного состава с невысоким препятствием, например, машиной на железнодорожном переезде и др.

Вышеперечисленные сценарии не исчерпывают возможные случаи столкновений и при проектировании кабин нужно так подбирать параметры элементов конструкции, чтобы обеспечить защиту персонала и материальной части кабины при нагрузке, которая появляется при ударе кабины локомотива о препятствие.

В данной работе рассматривается подход к определению границы области безопасной эксплуатации для кабины локомотива при возможных ударных нагрузках при столкновении. Если параметры движения локомотива и препятствия будут ниже указанной границы, определяющей наступление предельного состояния конструкции, то обеспечивается защита персонала и оборудования кабины.

Поведение кабины локомотива как механической системы при внешних воздействиях описывается выражением

$$Lu = q, \quad (1)$$

где  $q$  – элемент из пространства входных параметров  $Q$ , определяющих внешнее воздействие,  $u$  – элемент из пространства выходных параметров  $U$ , определяющих состояние системы,  $L$  – оператор, устанавливающий соответствие между элементами пространств  $U$  и  $Q$ .

Для элементов пространства  $Q$ , существует искомая область безопасной эксплуатации с границей  $\Gamma_q$ , которая ограничивает область безопасной эксплуатации кабины

$$q(t) \leq \Gamma_q, \quad t \in [0, T], \quad (2)$$

где  $\Gamma_q$  – искомая граница области в  $n$ -мерном пространстве входных параметров.

Силовой каркас кабины локомотива представляет собой пространственную балочно-стержневую систему той или иной конструкции. Например, конструкция кабины газотурбовоза ГТ1-н, представлена на рис. 1.

Для определения напряженного состояния элементов подвижного состава при ударе в настоящее время широко используются различные вычислительные комплексы, основанные на методе конечных элементов. В данной работе использован вычислительный комплекс ANSYS-15, позволяющий определить напряженное состояние кабины для статической силы [2-4]. Расчет проведен с дискретно возрастающей внешней нагрузкой на суперкомпьютере «Уран» ИММ УрО РАН.

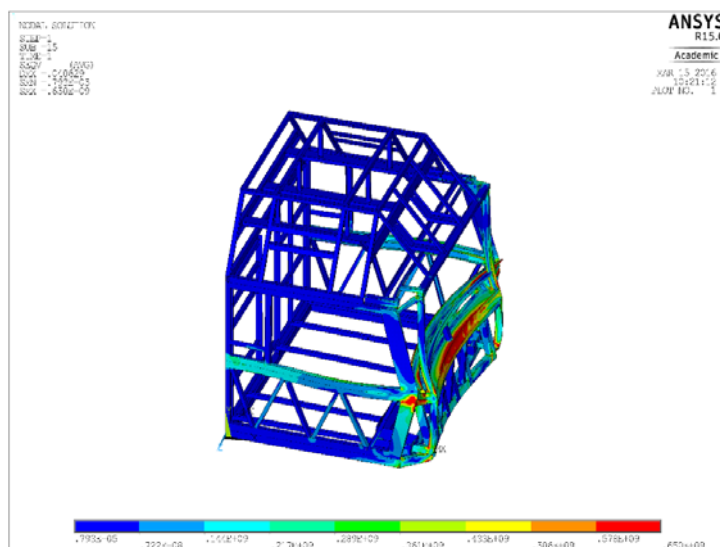


Рис. 1. Напряженно-деформированное состояние кабины локомотива

На основании статистических данных аварий на переездах и конструктивных особенностей кабин можно заключить, что удар обычно воспринимает лобовая балка.

Сила взаимодействия кабины локомотива с препятствием, определяется элементами из пространства  $Q$ , такими как скорость движения состава  $v$ , масса препятствия  $m_2$ , сила трения препятствия с поверхностью переезда  $F_T$ , ориентацией препятствия относительно лобовой балки, площадью лобовой балки, на которую приходится удар. Сила также будет зависеть от жесткости самой кабины  $c_k$ , буферного устройства  $c_b$  и препятствия  $c_{пр}$ . Если известны вышеперечисленные параметры, то динамическая задача может быть решена с использованием специализированных вычислительных комплексов. Поскольку о параметрах препятствия можно судить лишь по статистическим данным предшествующих аварий, то находить динамическое напряженное состояние кабины, используя конечно элементную постановку не имеет смысла, поскольку задача имеет многовариантные граничные и начальные условия.

Для оценки несущей способности кабины при многовариантных сценариях столкновения кабины необходимо определить область сопротивления кабины в пространстве неизвестных входных параметров, соответствующую безопасному состоянию конструкции.

Элементы пространства  $Q$  для уравнения (1) можно представить, как

$$Q = \{c, v, m_2, F_T, \vartheta, S_f\}, \quad (3)$$

где  $S_f$  – площадь лобовой балки на которую приходится удар ( $S_f = fS$ ,  $S$  – полная площадь;  $f$  – коэффициент перекрытия,  $0 \leq f \leq 1$ ),  $\vartheta$  – угол ориентации препятствия, относительно лобовой балки в момент удара,  $c$  – эквивалентная жесткость системы.

Следовательно, если для нескольких сценариев столкновений с фиксированными элементами пространства  $Q$  определить область сопротивления разрушению, то это позволит определить границу безопасной области.

На рис. 1 показано напряженно-деформированное состояние кабины от нагрузки равномерно распределенной по всей лобовой балке ( $f = 1$ ).

Для визуализации опасных сценариев столкновений с препятствиями на рис. 2 показана граница  $\Gamma_q$  (поверхность) в трехмерном пространстве  $Q = \{v, m_2, S_f\}$ . Три других параметра пространства зафиксированы при наиболее вероятных значениях столкновения  $c_{пр} = 0.4c_k$ ,  $\vartheta = 90^\circ$ . По вертикальной шкале отчитывается скорость столкновения  $v$  в км/час, а по горизонтальной шкале масса препятствия  $m_2$  в кг, по боковой оси  $f$  – коэффициент перекрытия площади лобовой балки, на которую приходится удар.

Различные кривые на рис.2 соответствуют препятствиям с различными параметрами жесткости от  $c_{пр} = 0.25 \cdot 10^6$  Н/м (верхняя кривая) до  $c_{пр} = 10^6$  Н/м (нижняя кривая).

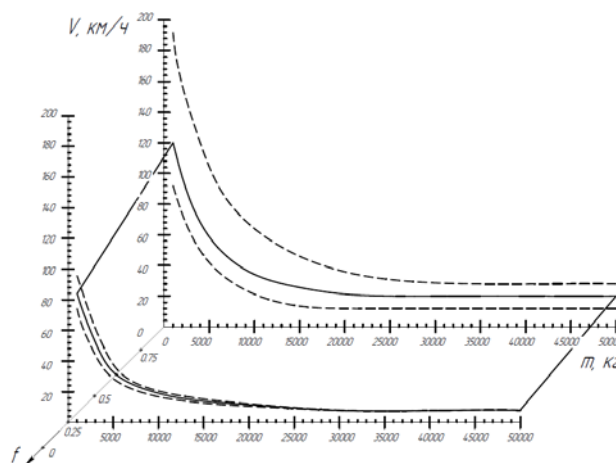


Рис. 2. Поверхность  $\Gamma_q$  в трехмерном пространстве  $Q = \{v, m_2, S_f\}$

### Библиографический список

1. EN 15227. Railway applications – Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies. – Brussel : EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2008.–37p.
2. Emelyanov I.G., Kuznetsov A.V., Mironov V.I. A mathematical model describing the stress state of the cabin of a gas turbine locomotive encountering an obstacle. Transport Urala, 2013, no. 4 (39), pp. 71–74. (In Russian).
3. Emel'yanov I. G. Mironov V. I. Kuznetsov A. V. Estimation of the Fracture Strength of a Spatial Beam–Rod Structure Notches // Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 2015, Vol. 44, No. 5, pp. 449–454.

4. Emel'yanov I. G. Mironov V. I. Kuznetsov A. V. On An Approach to the Evaluation of the Strength of a Spatial Rod System under Impact Loading [Electronic resource]: Diagnostics, Resource and Mechanics of materials and structures. - 2015. - Is. 2. - P. 16-23. URL: [http://dream-journal.org/issues/2015-2/2015-2\\_24.html](http://dream-journal.org/issues/2015-2/2015-2_24.html)

**II Международная конференция  
«Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур»**

**МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ  
ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ ЖИЛЫХ  
ЗДАНИЙ ПОВЫШЕННОЙ ЭТАЖНОСТИ**

*Жарков Н.Н.*

ГУ МЧС России по Свердловской области, г. Екатеринбург,  
zharkovnn@mail.ru

26-27 июня 2016 года,  
Екатеринбург, Россия

С начала 80-х годов прошлого столетия крупные города Советского союза начали активно застраиваться жилыми зданиями повышенной этажности (высотой более 10 этажей). Требования к обеспечению противопожарной защиты жилых домов, прописанные в СНиП II-Л.1-71 «Жилые здания. Нормы проектирования» [1] реализовывались на практике, и в дальнейшем получили развитие в выпускаемых взамен строительных нормах.

Подробно рассмотрим обеспечение противопожарной защиты жилых зданий на период с конца семидесятых годов по начала двухтысячных.

Система противопожарной защиты домов (далее СПДЗ) для домов высотой более 10 этажей, (с ведением [2] высотой более 28 метров) состоит из следующих компонентов: системы внутреннего противопожарного водопровода и системы дымоудаления из поэтажных коридоров, взаимосвязанная с системой подпора воздуха при пожаре в шахту лифта.

Система внутреннего противопожарного водопровода подключается через задвижку на обводной линии водомера на вводе системы хозяйственно-питьевого водопровода. На этаже здания выполняется пожарный кран, который снабжен пожарным рукавом одинакового с ним диаметра и пожарным стволом. Для обеспечения требуемого давления в пожарном водопроводе применяются повысительные насосы. Насосные установки пожарного водопровода, как правило, должны состоять из основного и резервного пожарных насосов и шкафа управления насосной станцией, в т. ч. электрифицированными обводными задвижками. Насосные установки для противопожарных целей должны иметь ручное и дистанционное управление от кнопок установленных в поэтажных пожарных шкафах. Неотъемлемая часть – щит управления в насосной.

Система дымоудаления из поэтажных коридоров реализуется путем установки поэтажных клапанов на шахте дымоудаления присоединенной к вентилятору. Для предотвращения проникновения дыма в шахту лифта обеспечивается подпор воздуха. Побудительный сигнал для включения формируется от пожарных извещателей, установленных в прихожих квартир или от кнопок, установленных в поэтажных пожарных шкафах. Щит автоматики управления устанавливается в электрощитовой. Сигнал также поступает на управление лифтами и в диспетчерскую с круглосуточным персоналом.

Определенной вехой развития противопожарных требований в жилых зданиях было изменение от 20.11.2000 №4 к [3]. Представим для обозрения некоторые положения указанного изменения:

- «В зданиях высотой до 50 м допускается вместо внутреннего противопожарного водопровода предусматривать устройство сухотрубов с выведенными на фасад здания патрубками для подключения пожарных автомобилей».



- «На сети хозяйственно-питьевого водопровода следует предусматривать отдельный кран для присоединения шланга (рукава) в целях возможности его использования в качестве первичного устройства внутриквартирного пожаротушения на ранней стадии. Шланг должен обеспечивать возможность подачи воды в любую точку квартиры с учетом длины струи 3 м, быть длиной не менее 15 м, диаметром - 19 мм и оборудован распылителем».
- «Помещения квартир и общежитий (кроме санузлов, ванных комнат, душевых, постирочных, саун) следует оборудовать автономными оптико-электронными дымовыми пожарными извещателями, соответствующими требованиям НПБ 66-97, с категорией защиты IP 40 (по ГОСТ 14254-96)».

Практика надзорных мероприятий в жилых зданиях повышенной этажности с застройкой до 2000 года показала, что СПДЗ находится в неисправном состоянии и разукomплектованы. За период с начала 90-х годов техническое обслуживание и планово-предупредительный ремонты не проводятся по настоящее время. Восстановление СПДЗ требует значительных материальных затрат. По проведенному анализу в г. Екатеринбурге количество жилых зданий с неисправной СПДЗ составляет более 600, в которых проживает более 100 000 граждан.

Мной предлагается вариант модернизации системы противопожарной защиты жилых зданий повышенной этажности (до 16 этажей) путем комплексного восстановления.

Система внутреннего противопожарного водопровода заменяется на сухотруб с выведенными на фасад здания патрубками для подключения пожарных автомобилей. С целью повышения надежности и снижения материальных предлагаю заменить клапан пожарного крана на разработанный мной клапан пожарный жидкостной. При применении сухотруба не потребуются пожарные насосы-повысители, кнопки запуска и щит управления. Обслуживание значительно упрощается.

Оборудование квартир первичными устройствами внутриквартирного пожаротушения на ранней стадии.

Оснащение здания системой автоматической пожарной сигнализации, являющейся побудительной для запуска системы управления и оповещения людей при пожаре, а также системы дымоудаления и подпора воздуха при пожаре в шахту лифта. Для обнаружения пожара использовать адресные пожарные извещатели, монтируемые в прихожих квартир, в местах общего пользования, а также в жилых комнатах. Взаимосвязь извещателей с приемно-контрольным прибором производить с использованием проводов или по радиоканалу. Использование данного оборудования позволит оперативно отключать от

контроля неисправные извещатели, с не возможностью обслуживания (внутри квартиры без доступа), что повысит устойчивость и надежность работы систем противопожарной защиты.

При запуске системы дымоудаления в жилых зданиях, на верхних этажах двери из коридора в лифтовой холл, открываются со значительным усилием. Человеку с массой тела менее 40 кг открыть дверь не представляется возможным. Данное положение происходит в результате разницы давления воздуха в коридоре, из которого удаляют дым и лифтового холла, в который через неплотности дверей лифтовой шахты нагнетается избыточное давление.

В Сводах правил 7.13130.2013 «Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности» в п. 7.4 указывается: «При совместном действии систем приточной и вытяжной противодымной вентиляции отрицательный дисбаланс в защищаемом помещении допускается не более 30%. При этом перепад давления на закрытых дверях эвакуационных выходов не должен превышать 150 Па». Выполнение дополнительной шахты для подачи воздуха в коридор (для возмещения удаляемого воздуха) не представляется возможным. Установка клапана избыточного давления в перегородке, отделяющей коридор от лифтового холла, по моему мнению, не будет корректно работать, и обеспечивать требуемый подпор. Предлагаю в качестве компенсации разницы давлений применять клапан с механическим побуждением.

#### **Библиографический список**

1. СНиП II-Л.1-71 Жилые здания. Нормы проектирования. . – М.:Стройиздат, 1978 г.
2. СНиП 21-01-97 Пожарная безопасность зданий и сооружений– М.: Стройиздат, 1997 г.
3. СНиП 2.08.01-89 «Жилые здания» – М.: Стройиздат, 1989.
4. Свод правил 7.13130.2013 «Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности» –М.: 2013.

**ОРГАНИЗАЦИЯ ЭВАКУАЦИИ В  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНОЙ  
ПРОТИВОДЫМОВОЙ ЭВАКУАЦИОННОЙ  
СИСТЕМЫ**

*Загидуллина В.М.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

**Актуальность**

Обеспечение промышленного здания надежной системой эвакуации – неотъемлемая часть разработки проекта объекта. Описанная в статье эвакуационная система, основанная на физике лазеров и предназначенная для эвакуации людей из задымленного объекта промышленного назначения, является современным образцом передовых технологий в области обеспечения гражданской безопасности в сфере промышленности.

**Теория оптики и мутных сред**

Согласно [4] среду, насыщенную дымом, следует относить к группе мутных сред. Для обеспечения правильной оптической работы лазерной системы потребовалось изучить теорию мутных сред.

Физический смысл закона Бугера о характере распространения света в поглощающей среде даёт понять, что оптическая нестабильность является главным затруднением исследования. Для отыскания решения потребовалось провести серию расчетов. Первые расчеты предоставили информацию о плотности, видимости и интенсивности дымовой среды. Выполненные расчеты дали общую картину структуры дыма.

Следующие расчеты были нацелены на выяснение с помощью закона Релея, какой тип излучения способен наиболее стабильно преодолевать дымовую оболочку. Лазерный луч наиболее подходит для установки, потому что обычного излучения видимого спектра не достаточно, так как свет рассеивается. Лазеры – самые мощные источники света. Типичный лазерный световой поток – красный.

Последние расчеты на основе того же закона Релея показали, что зеленый цвет светового пучка является наиболее подходящим для эвакуационной системы. Зеленый лазерный свет наиболее комфортен для человеческого глаза. Длина волны такого светового пучка не представляет опасности для здоровья. Также производилась серия проверок на исключение нагревания поверхности отражения в результате воздействия сосредоточенного лазерного луча.

**Размещение системы**

Система состоит из набора лазерных лампочек. Также она снабжена датчиками дыма, системой звукового оповещения. Как только детектор дыма распознаёт задымляемость, срабатывает звуковая тревога, а внедрённые в эвакуационную цепь лазерные лампочки включаются от полученного сигнала. Результатом работы такой системы является построение светового эвакуационного маршрута на пути людей, эвакуирующихся из здания.

**Питание**

Лазерная эвакуационная система работает на основе батареек, т.к. во время эвакуации здание обесточивается. В штатном состоянии лампочки включены в электрическую цепь и

накапливают энергию в течение того времени, пока объект функционирует и снабжён электроэнергией. Как только срабатывает аварийная система и здание обесточивается, лампочки включаются и работают в течение 45 минут, питаясь от батарейки. Согласно [1] время прибытия пожарного расчета с момента включения сигнализации равно 15 минутам. Среднее время эвакуации людей из промышленного здания составляет 20 минут. Батарейка заряжается при следующем включении электрического тока в здании.

#### **Схема лазерной световой единицы**

Устройство лампочки несложное. Чтобы собрать лампочку, необходимо мощным инфракрасным лазерным диодом 808 нм накачать кристалл ортованадата иттрия с неодимовым легированием. Излучение преобразовывается в 1064 нм. Затем сверху накладывается кристалл титанила-фосфата калия. Частота излучения сдваивается (1064 нм → 532 нм). Преодолев это покрытие, луч приобретает зеленый цвет. Сверху такой миниатюрной конструкции накладывается инфракрасный фильтр и насадка, которая позволяет преобразовать хаотичный световой пучок в световое изображение в виде стрелки (указателя направления движения). Конструкция ввинчивается в панель. Так собирается каждая лампочка для цепи.

#### **Батарейка**

В качестве источника энергии для эвакуационной системы используется многозарядный элемент. Согласно требованиям ГОСТ для аварийного электроснабжения зданий используются стандартные свинцово-кислотные электрические аккумуляторы. В разработке применяются малогабаритные свинцово-кислотные аккумуляторы.

#### **Энергетический расчет**

КПД полученной схемы около 20 %. Отсюда следует, что расход электроэнергии для зарядки батареек будет большим. Для того чтобы система была экономичной, необходимо повысить КПД схемы. Наиболее выгодным и эффективным методом повышения КПД обнаружен [3]. Для повышения КПД схемы электропитание лампы осуществляют пакетами импульсов с оптимальными длительностями импульсов и пакетов импульсов, длительностями пауз между импульсами и между пакетами импульсов, коэффициентом превышения импульсной мощности над номинальной мощностью лампы.

#### **Практическая значимость**

Разработанная в 2012 году лазерная противодымовая эвакуационная система для промышленных зданий представила интерес для исследователей Факультета радиотехники Марийского государственного технического университета (г. Йошкар-Ола). Принято решение о тесном сотрудничестве с исследователями. В настоящее время команда радистов-

электронщиков занимается формированием комплекта лазерных лампочек для эвакуационной системы.

**Библиографический список**

1. Федеральный закон РФ от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
2. СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. – М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 1999.
3. Пат. 2368108 Российская Федерация, МПК H05B41/28 . Способ повышения КПД электрических ламп [Текст] / Ревашин Б.Г.; заявл. 15.08.2006; опубл. 20.09.2009. – 3 с.
4. Шифрин К.С. Рассеяние света в мутной среде. – М.-Л.: Гос. издательство техн.-теор. литературы», 1951. – 288 с.

## **О РАСЧЕТЕ И КОНСТРУИРОВАНИИ АРМОПОЯСА В ИНДИВИДУАЛЬНОМ ЖИЛОМ ДОМЕ ИЗ ГАЗОБЕТОННЫХ БЛОКОВ**

*Загидуллина В.М.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург  
Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс больших систем и машин» Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург  
[marsovnavenera@gmail.com](mailto:marsovnavenera@gmail.com)

*Сусарова К.С.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

## Проблема

Монолитный железобетонный армированный пояс, или армопояс – это монолитная замкнутая железобетонная конструкция, проходящая по контуру здания. Главная задача армопояса – обеспечение защиты каркаса от деформаций путем повышения жесткости конструкции.

Причины установки армопояса:

- При монтаже стропильной системы крыши мауэрлат крепится к стене с помощью анкеров или шпилек. Газоблоки плохо воспринимают точечную нагрузку, передаваемую от стропил через мауэрлат. Это приводит к трещинообразованию.
- Максимальное восприятие и минимальная передача на стены горизонтальных составляющих различных нагрузок, с целью устранения растягивающих усилий.
- Предотвращение смятия от местной сосредоточенной нагрузкой.

Таким образом, в индивидуальном жилом доме из газобетонных блоков необходимо устройство двух армопоясов: в уровне перекрытия второго этажа, в уровне опирания стропильной системы (рис. 1). В уровне фундаментного узла не требуется установка армопояса, так как на данной отметке функцию разгрузочной конструкции несет на себе фундаментный железобетонный ростверк.

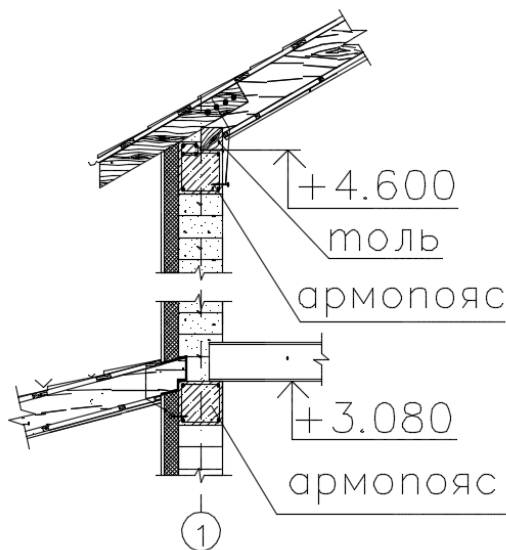


Рис. 1. Расположение армопоясов. Опираие конструкций на армопояса

В отечественной нормативной базе отсутствуют документы, твёрдо регламентирующие правила проектирования армопоясов. Зачастую конструкторы прибегают к использованию таких документов, как [1] и [4], которые отражают требования к проектированию железобетонных поясов для зданиях, расположенных в сейсмических районах.



Однако армированный железобетонный сейсмопояс устанавливается по контуру наружных стен здания для того, чтобы предохранить объект от разрушений вследствие воздействия сейсмических колебаний земли. В то время как разгрузочный монолитный железобетонный армированный пояс устанавливается для того, чтобы предохранить здание от разрушений вследствие нагрузок, возникающих непосредственно в конструкциях.

Анализ форумов и непосредственные наблюдения показывают, что при проектировании армопоясов расчеты не производятся, армопояс назначается конструктивно.

Для корректного расчета и проектирования железобетонного монолитного армированного пояса в индивидуальном жилом доме из газоблоков следует принять армопояс как монолитную железобетонную армированную балку, закрепленную по всей длине. Расчет производить согласно [3]. Замкнутый монолитный армопояс необходимо разбить на составляющие: торцевые и крайние пояса.

### Расчет верхнего армопояса

Нагрузки, передаваемые на верхний армопояс – это усилия в узлах опирания элементов стропильной системы на армопояс (Рис. 2). Эти нагрузки имеют некоторый эксцентриситет по отношению к оси симметрии армопояса и наружной стены здания. Преодолев железобетонный армопояс, нагрузки передаются на нижележащую стену центрированно.

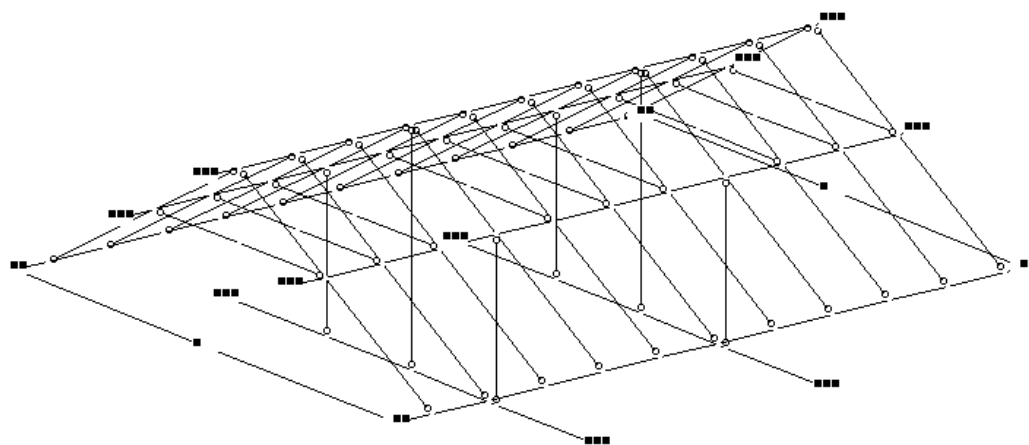


Рис. 2. Расчетная схема стропильной системы с опиранием на верхний армопояс

Деревянная стропильная система мансардного жилого дома имеет сложный способ конструирования. Проектируемые в такой системе вертикальные деревянные стойки не следует опирать на плиты перекрытий, т.к. стойки передают через себя большие нагрузки с кровли. Плита перекрытия слабо воспринимает такие нагрузки. Стойки устанавливают на стальные балки между плитами перекрытий, опирающиеся на наружные стены.

Выполняются проверки: прочности, по полосе между наклонными сечениями, наклонного сечения при действии момента, наклонного сечения при действии поперечной силы, на образование трещин.

#### **Расчет торцевой части верхнего армопояса**

В качестве растягивающих усилий, возникающих в торцевой железобетонной балке верхнего армопояса, принимаем усилия, возникающие в углах контура замкнутого армопояса, из расчетной схемы по рис. 2. Выполняется проверка армопояса на растяжение.

#### **Расчет нижнего армопояса**

Нижний армопояс воспринимает нагрузку от стальных балок; вес плит перекрытий; вес верхней части конструкции стены; нагрузки, передаваемые через верхний армопояс со стропильной системы кровли.

Стальные балки передают на нижний армопояс нагрузки, которые воспринимают от кровли через вертикальные деревянные стойки. Реакции от стальных балок и плит перекрытия передаются на газоблоки с некоторым эксцентриситетом. Вес верхней части стены прикладывается по оси симметрии. Нагрузки со стропильной системы, придя в верхний армопояс с эксцентриситетом, переходят на нижний армопояс без эксцентриситетов.

Для расчета нижнего армопояса достаточно рассмотреть ту его часть, которая располагается над проемом. В месте проема балка более уязвима к прогибам и образованию трещин. Для учета всех особенностей следует принять, что на этом участке располагается опирание плит перекрытий и стальной балки.

При расчете нижнего армопояса выполняются те же проверки, что и для верхнего. Также выполняется проверка прогиба части армопояса над проемом.

#### **Дальнейший расчет газобетонной стены**

Завершающий расчет нижней части газобетонной стены производится согласно [2]. Для этого необходимо вырезать 1 м стены и рассмотреть его, как стержень установленного сечения. При расчете производятся проверки стены на прочность, устойчивость и смятие.

#### **Выводы**

Отсутствие нормативной базы по расчету армопоясов направляет к применению технологии расчета армопояса как монолитной железобетонной армированной балки, закрепленной по всей длине. Такая методика служит своеобразным методическим указанием для проектировщика.

Детальный расчет армопоясов как железобетонных балочных конструкций упрощает дальнейшие вычислительные действия проектировщика при подборе характеристик нижележащих конструкций дома: стен, фундамента.

**Библиографический список**

1. СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\* – М., 2011.
2. СП 15.13330.2012. Каменные и армокаменные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-22-81\* / Министерство регионального развития.– М.: ОАО "ЦПП", 2012.– 81 с.
3. СП 27.13330.2011 Бетонные и железобетонные конструкции (актуализированная редакция СНиП 2.03.01-84\*) / НИИЖБ. – М.: Минрегион России, 2011. – 99 с.
4. СП 31-114-2004 Правила проектирования жилых и общественных зданий для строительства в сейсмических районах. Госстрой России.-М.:ГУПЦПП, 2005.- 50с.

**II Международная конференция  
«Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур»**

**ПРОБЛЕМЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ЖИЛОЙ  
ЗАСТРОЙКИ**

*Зайнакаева Н.Э.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
natalka360@mail.ru

*Ямов В.И.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
stroypolytech@gmail.com

**26-27 июня 2016 года,  
Екатеринбург, Россия**

Реконструкция жилой застройки является частью общих проблем развития города и направлена на обеспечение лучших условий проживания населения. Мероприятия по реконструкции тесно связаны с решением комплекса социально-экономических, архитектурно-планировочных и санитарно-гигиенических проблем – приспособление планировочной структуры города с новыми требованиями его развития. Решение социальных задач предусматривает, в частности, повышение уровня комфорта в сложившихся районах, создание жилых и культурно-бытовых условий, отвечающих современным градостроительным требованиям и нормам [1].

На сегодняшний день в Российской Федерации миллионы людей живут в ветхих и аварийных домах, составляющие по площади около 34 млн. м. Так, например, количество ветхого и аварийного жилищного фонда Екатеринбурга остается ежегодно на уровне 340-330 тыс. м<sup>2</sup>. Значительная часть эксплуатируемых зданий не удовлетворяет современным функционально-потребительским требованиям, предъявляемым к жилым помещениям (неудобная планировка, недостаточный уровень благоустройства, низкие теплотехнические, акустические и другие изоляционные характеристики ограждающих конструкций).

Становится очевидным, что переустройство зданий – это одна из возможностей относительно быстрого получения дополнительных площадей за счет уплотнения существующей застройки при растущей дороговизне городской земли, особенно в городах-миллионниках. Такое возможно путем надстроек и пристраиваемых объемов для зданий в существующих районах городской застройки [1]. Расчеты специалистов показывают, что увеличение жилищного фонда страны при реконструкции только зданий первых массовых серий может составить 100–120 млн. м<sup>2</sup> общей площади с затратами в 2.5 раза меньше, чем при новом строительстве. Все это может быть достигнуто за счет более рационального использования систем инженерного оборудования, освоенных территорий и существующего и возобновляемого фонда по эксплуатации зданий и сооружений.

Из множества существующих решений по реконструкции эффективными являются [2]:

- I – полный снос ветхих, морально и физически устаревших жилых домов и волновое переселение жильцов во вновь построенные дома ( по генплану развития города);
- II – передвижка зданий, имеющих архитектурно-историческую ценность, с последующей реставрацией;
- III – сохранение зданий с надстройкой 2-4 этажами и частичным сносом отдельных строений, строительством зданий повышенной этажности (высотных) домов и освоением подземного пространства путем возведения заглубленных строений;

- IV – сохранение жилого фонда с устройством многоэтажных вставок в сочетании с надстройкой и обстройкой жилых домов;
- V – надстройка одно- и двухуровневыми мансардными этажами с производством работ без отселения жильцов;
- VI – реконструкция жилых домов известными методами с уплотнением застройки и с освоением подземного пространства под спортивными площадками, дворовыми территориями, внутриквартальными дорогами (см. рис. 1)

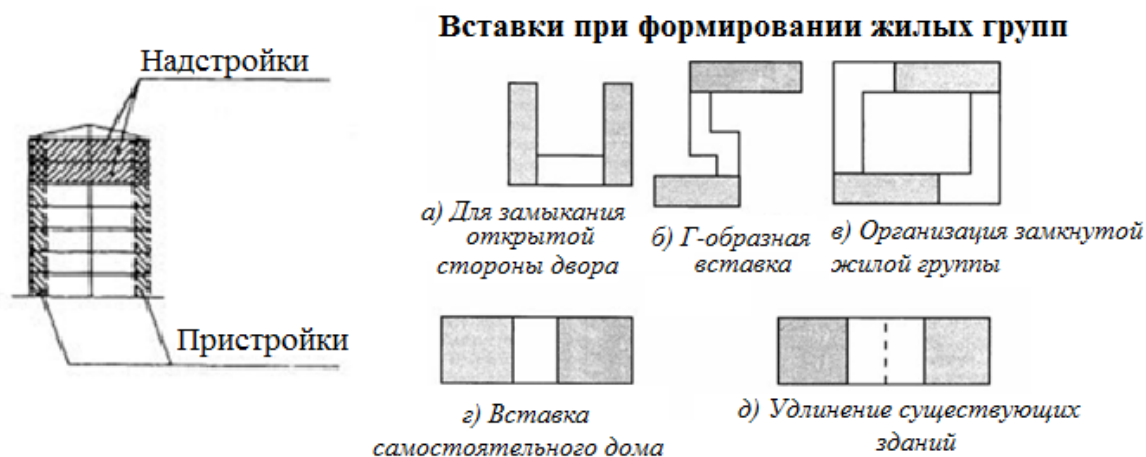


Рис. 1. Решения по реконструкции жилых зданий

### Надстройки здания

Площадь плоских покрытий и пустующих чердаков жилых зданий оценивается в 500–600 млн. м<sup>2</sup>, отсюда мы можем увидеть, что только надстройка в один этаж может дать 50–70 млн. м<sup>2</sup> дополнительной площади, т.е. около 1 млн. квартир. Мансардные этажи предоставляют возможность получить жилье по себестоимости на 25–40% дешевле, чем в новостройке [2]. Город может получить дополнительную жилую площадь при меньших затратах, без отвода новых земель, на благоустроенной территории, с существующей социальной и транспортной инфраструктурой. Но, следует отметить, что существующая инфраструктура (дороги, сети) может быть недостаточной и на ее восполнение потребуются дополнительные затраты.

### Пристройки к зданию

Снижение морального износа домов первых массовых серий осуществляется к фасадным и торцевым поверхностям дополнительных объемов, что способствует увеличению кухонь, жилых комнат и вспомогательных помещений [2]. Сложность заключается в решении совместной работы нового и старого фундаментов. Необходимо тщательно выяснить грунтовую обстановку и обследовать существующие фундаменты.

### **Реконструкция и реставрация зданий**

Это особый, наиболее сложный и трудоемкий вид строительных работ. Сложность этих работ заключается в следующем:

- переустройство зданий, построенных в разных временных условиях, у которых свои конструктивные особенности, связанные с эпохой постройки;
- осуществление постоянного мониторинга состояния конструкций здания;
- в комплексном характере решения технических, экономических, социальных и экологических задач;
- большой объем ручного труда. Работы по реконструкции зданий и сооружений отличаются повышенной по сравнению с новым строительством трудоемкостью на 25–30%, а в отдельных случаях – на 50–100%.

Технология и организация строительного производства при реконструкции зданий характеризуется своими особенностями по сравнению с новым строительством:

- ведение работ при реконструкции зданий всегда оказывается в стесненных условиях, что оказывает влияние на общую схему организации и технологии производства. Это вызывает затруднения по рациональному складированию материалов, укрупнительную сборку и применение прогрессивных методов монтажа, что не позволяет использовать типовые технологические карты и индустриальные методы производства работ, вынуждает применять дорогую мини-технику со своей технологией производства работ.
- обеспечение сохранности окружающей застройки, инженерных коммуникаций;
- социальный аспект - проведение социологического опроса населения при обновлении и реконструкции жилой застройки;
- сложности при отселении людей в резервное жилье на период реконструкции;
- шумы и загрязнение воздуха доставляет неудобства жителям соседних домов

### **Заключение**

Итогом является вывод, что реконструкция жилой застройки является неотъемлемой частью современного города, которую нужно осуществлять. Однако необходимо правильно оценивать возможности реконструкции, научно обосновывать доказательную базу ее необходимости. Реконструкция позволяет улучшать старую инфраструктуру города и комфортность проживания людей.

### **Библиографический список**

1. Касьянов В.Ф. Реконструкция жилой застройки городов. Учебное пособие – М., 2005
2. Шепелев Н.П., Шумилов М.С. Реконструкция городской застройки. Учеб.пособие. для строит. спец. вузов – М., 2000

**НЕОБХОДИМОСТЬ ПРЕПОДАВАНИЯ  
GREEN BIM ТЕХНОЛОГИЙ  
В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ 21 ВЕКА**

*Захарова Г.Б.*

Уральский государственный архитектурно-художественный университет,  
г. Екатеринбург,  
zgb555@gmail.com

*Кривоногов А.И.*

Уральский государственный архитектурно-художественный университет,  
г. Екатеринбург  
kai5407@gmail.com



Министерство природных ресурсов и экологии РФ в 2015 году разработало стратегию экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и план ее реализации [1]. Признавая общую экологическую ситуацию в стране неудовлетворительной, документ содержит ряд мер по преодолению проблем, одной из которых является воспитание экологической грамотности у молодого поколения за счет преподавания в университетах, в том числе архитектурно-строительного направления, методов и средств «зелёного» проектирования.

Россия включилась в процесс «зеленого» строительства в 2009 г., когда был создан Совет по экологическому строительству (RuGBC) [2] в России как часть мирового сообщества. В настоящее время в России существует ряд объектов и готовых проектов энергоэффективных зданий различных типов – жилые комплексы, университеты, стадионы, производства и др. Ведется сертификация объектов по международным и российским системам, таким как LEED (США), BREEAM (Великобритания), DGNB (Германия), Green Zoom (Россия), определяющим требования и критерии оценки.

Экологическое рациональное проектирование по «зелёным» стандартам выполняется в целях устойчивого развития территорий. Подход предполагает проектирование с оптимизацией технологических и экономических факторов в целях экологической безопасности с широким использованием энергосберегающих технологий и возобновляемых ресурсов, гармоничным вхождением зданий в окружающую природную среду.

Соответствующий проект должен опираться на цифровую модель здания – BIM, что позволяет выполнять многочисленные расчеты по его оптимизации с точки зрения эффективности при дальнейшей эксплуатации здания. В этом случае технология относится к Green BIM [3].

Цифровое моделирование зданий (Building Information Modeling – BIM) представляет собой процесс создания и управления информацией об объекте строительства на всех этапах жизненного цикла [4]. При этом проектирование выходит на новую стадию – оно рассматривается с системных позиций как часть всего жизненного цикла архитектурно-строительного объекта, включающего и проектирование, и строительство, далее эксплуатацию и снос. Единая интегрированная информационная модель здания содержит всестороннее описание объекта, обеспечивает скоординированную работу всех групп участников разработки и реализации проекта. Технология позволяет визуализировать и рассчитать будущий объект с выбранными материалами, иметь несколько вариантов с оценкой стоимости, оптимизировать конструктивную часть, убирать коллизии инженерного оборудования и архитектурного решения, извлекать сведения для составления сметы затрат

на строительство, модель для дальнейшей эксплуатации объекта, что в конечном итоге повышает эффективность проекта на всех его стадиях.

Технология BIM за последние годы становится доминирующей в мировой проектно-строительной практике, заменяя все ранее применявшиеся методы проектирования. В нашей стране она только начала внедряться, например, отставание от США, Великобритании, Австралии в построении и использовании BIM моделей составляет более 10 лет.

Россия включилась в процесс внедрения BIM-технологий в проектно-строительную практику: 29 декабря 2014 года вышел приказ №926 Минстроя РФ «Об утверждении плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства» [5]. План предусматривает отбор, проведение экспертизы и анализ «пилотных» проектов, выполненных с применением технологий информационного моделирования. Далее предполагается внесение изменений в нормативные правовые и нормативно-технические акты, а также в образовательные стандарты к декабрю 2016 года, а через год, в 2017, – начало подготовки специалистов по использованию информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства и подготовки соответствующих экспертов.

Система образования не может реагировать быстро на подобные изменения внешнего мира, системно GreenBIM-технологии в университетах не преподаются. Нам представляется важным находить способы внедрения инновационных технологий в учебный процесс для формирования специалистов, отвечающих современным требованиям.

Кафедра прикладной информатики УрГАХУ реализует междисциплинарную образовательную программу по направлению 09.03.03 «Прикладная информатика» с профилем «Прикладная информатика в архитектуре». С 2009 г. кафедра вводит в учебный процесс элементы Green BIM-технологий, включая соответствующие разделы в такие дисциплины, как «Информационные технологии и системы управления в ресурсосбережении», «Системы автоматизированного проектирования», «Градостроительная экология», «Социальные и экологические основы архитектурного проектирования», «Средовые факторы в архитектуре», учебная и производственная практика и другие.

Мы организуем участие студентов в научно-практических семинарах компаний, которые занимаются производством новых материалов и технологий («Кнауф», «Изовер», «Теплит», «Теплокрепость», «Velux», Институт пассивного дома), участие студентов в международных конкурсах («Сен-Гобен» – проектирование мультикомфортных зданий, Autodesk – «Придай форму будущему»), экскурсии на предприятия и уникальные объекты строительства.

Особую роль в исследованиях по информационному моделированию и «зелёному» проектированию мы отводим дипломному проектированию, когда студенты разрабатывают объекты различных типов – промышленные, общественные и жилые здания, в том числе, участвуют в разработке реальных объектов. Далее приведем несколько примеров дипломных проектов с применением информационного моделирования зданий и сертификацией по «зелёным» стандартам.

В дипломной работе «Применение энергоэффективного стандарта Green Zoom в проектировании жилых зданий» (Кутишенко Е.А., руководитель Шаповалова О.П., консультант Кривоногов А.И., 2015 г.) разработан эскизный проект высотного многоквартирного жилого здания, выполнена его оценка в российской системе по повышению энергоэффективности и экологичности объектов гражданского и промышленного строительства Green Zoom. Оценка здания по системе Green Zoom происходит по 9 разделам: архитектурно-планировочные решения, расположение проекта и организация транспортного обеспечения, экологическая устойчивость территории, водоэффективность, энергоэффективность, снижение вредных выбросов в атмосферу, экологически рациональный выбор строительных материалов и управление отходами, экология внутренней среды зданий, инновации в проектировании, региональные особенности. Комплексное применение всех мероприятий позволило в данном проекте снизить потребление электричества, тепла, воды и экономить на оплате коммунальных услуг не менее 30%. Энергоэффективность, теплоэффективность, водоэффективность составили соответственно 10%, 32%, 37%. Для построения цифровой модели здания применялась программа Autodesk Revit, для визуализации 3DS Max, энергомоделирование здания выполнялось в Autodesk Green Building Studio.

Дипломная работа «Автоматизированное проектирование малоэтажного жилого квартала «Экомир» на основе энергосберегающих технологий» (Соколовский А.Р., рук. Шаповалова О.П., консультант Захарова Г.Б., 2013 г.) посвящена исследованию и разработке энергоэффективного коттеджного поселка из деревянных конструкций на основе альтернативных источников энергии с применением специальных систем автоматизации проектирования. Это реальный проект компании «Теплокрепость», в котором активно участвовал наш студент во время преддипломной практики.

Дипломная работа «Информационная поддержка коллективной разработки архитектурных проектов» (Щербакова Ю.А., руководитель Кривоногов А.И., 2014 г.) посвящена исследованию возможностей программных продуктов по управлению коллективной разработкой архитектурных проектов на всех этапах жизненного цикла через общую базу данных. В качестве объекта было выбрано здание корпуса экспериментальных

мастерских Центрального научно-исследовательского института материалов в Екатеринбурге. Исходными данными для работы явились техническое задание структурной модернизации, взятые из архива, и отсканированные чертежи с планом расположения технического оборудования, результаты лазерного сканирования, оцифрованный план земельного участка. Была организована командная работа через единую базу данных в единой информационной модели здания. Участники проекта реконструкции подчинялись BIM-менеджеру, работа которого была направлена на координацию работ и формирование в конечном итоге стандарта по работе с BIM. Результатом данной работы явился эффективный проект реконструкции объекта.

Другими примерами являются – проектирование инновационного технопарка для производства модульной продукции в Челябинской области; цифровая модель торгового центра в Екатеринбурге, разработанная для МЧС с целью обучения сотрудников организации спасательных работ в случае чрезвычайной ситуаций, модель позволяет разбирать здание на слои и выводить все коммуникации.

Таким образом, образовательная программа «Прикладная информатика в архитектуре» откликается на современные требования и формирует у студентов знания, навыки и умения в автоматизированном проектировании энергоэффективных экологических объектов.

#### **Библиографический список**

1. Проект Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и плана ее реализации [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=141358&print=Y> (дата обращения 11.05.2016).
2. Совет по экологическому строительству в России (RuGBC) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rugbc.org/ru> (дата обращения 11.05.2016).
3. Krygiel E., Nies B. Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling. Wiley Publishing, 2008. 268 p.
4. Талапов В.В. Основы BIM: Введение в информационное моделирование зданий. ДМК, 2011. 392 с.
5. Приказ Минстроя РФ «Об утверждении плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.minstroyrf.ru/upload/iblock/383/prikaz-926pr.pdf> (дата обращения 11.05.2016).

**МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ ВМЯТИНЫ НА  
ГАЗОПРОВОДЕ И ЕЕ РЕАЛИЗАЦИЯ  
МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В  
ANSYSMECHANICAL**

*Зорин А.А.*

НИЦ «Нир БСМ» УрО РАН, г. Екатеринбург

*Тимашев С.А.*

НИЦ «Нир БСМ» УрО РАН, г. Екатеринбург,

TimashevS@gmail.com

Обеспечение надежности магистральных газопроводов (МГ) и бесперебойной поставки газа до потребителя являются приоритетными задачами газотранспортной системы России и в настоящее время до конца еще не решены. На стадии проектирования надежность обеспечивается правильным выбором марки стали, геометрических параметров, комплексной противокоррозионной защитой. На стадии эксплуатации, ввиду неизбежного наличия дефектов, (эксплуатационных – образовавшихся в процессе эксплуатации, либо строительно-монтажных – образовавшихся при строительстве или ремонте и выявленных при техническом диагностировании газопровода) мероприятия по обеспечению и поддержанию заданного уровня надежности требуют технико-экономического обоснования. Для этих целей в общем случае необходимо проведение расчетов статической и динамической прочности участков газопроводов с дефектами с последующим применением подходов теории надежности. Подавляющее большинство существующих методик используют детерминированный подход к оценке прочности и надежности газопроводов. Основной причиной этому является отсутствие достаточного, представительного объема исходных данных для проведения стохастического анализа.

Предмет исследования в данной работе – магистральные газопроводы с дефектами типа вмятина. Нормативная документация, регламентирующая опасность вмятин основана лишь на их геометрических размерах и аналитических зависимостях переводящие размеры вмятин в деформации стенки газопровода. При таком подходе неучтенными остаётся история образования вмятины и такие важные параметры, как остаточные напряжения и скорость механического воздействия при образовании вмятины. Использование метода конечных элементов, реализованного, например, в ANSYS Mechanical, позволяет учесть указанные выше упущения. В связи с чем, определена цель работы: Определение параметров внешнего механического взаимодействия на стенку трубы в процессе образования вмятины. Сложность задачи обоснована ограниченность информации для реализации поставленной задачи. Зачастую, это лишь механические и геометрические свойства трубы, условия эксплуатации (рабочее давление) и размеры вмятины (длина, ширина и глубина).

На начальном этапе определены различные механизмы возникновения вмятины в зависимости от стадии эксплуатации газопровода в момент ее образования. В результате для исследования определены следующие наиболее вероятные модели образования вмятины (табл. 1).

С целью оперативного достижения поставленных задач разработан алгоритм, написанный на языке APDL. Файл tube.lgw содержит программу на языке APDL, выполняющую чтение данных из файла dat1.dat и расчет. Учитывая большое число запусков этой процедуры при обработке данных ВТД, был реализован механизм ее автоматизации.

Сценарии образования вмятины

Сценарий образования вмятины	Моделирование вмятины
Образование вмятины при ремонте газопровода под воздействием ковша экскаватора. Давление в газопроводе снижено. Вмятина обнаружена по результатам внутритрубной диагностики.	Построение геометрической модели трубы, освобожденной от грунта – вдавливание в стенку трубы индентора с размерами эквивалентными размеру зуба ковша экскаватора – удаление индентора – закрепление трубы в грунте – нагружение стенки трубы внутренним давлением.
Образование вмятины при раскопке шурфа под воздействием ковша экскаватора. Давление в газопроводе равно рабочему давлению. Вмятина обнаружена по результатам внутритрубной диагностики.	Построение геометрической модели трубы, закрепленной в грунте и нагруженной внутренним давлением – вдавливание в стенку трубы индентора с размерами эквивалентными размеру зуба ковша экскаватора – удаление индентора.
Образование вмятины при строительстве, ремонте газопровода вследствие резкого воздействия (удара) на стенку трубы. Давление в газопроводе отсутствует. Вмятина обнаружена по результатам внутритрубной диагностики.	Построение геометрической модели трубы, освобожденной от грунта – вдавливание в стенку трубы индентора с различными размерами с различной скоростью.

Особенностями это файла являются:

- использование для описания трубы 4-узловых оболочечных элементов с линейными функциями формы, гипотезой жесткой нормали и 5 точками интегрирования по толщине;
- использование дополнительных (фиктивных) оболочечных элементов, обладающих свойством «упругое основание заданной жесткости»;
- организация цикла по строкам файла исходных данных, описывающим отдельные дефекты: каждый цикл включает создание трубы с исходной геометрией (идеальный цилиндр), создание «индентора», перемещение индентора внутрь трубы на заданное расстояние, возврат индентора в исходное положение, нагружение давлением, вывод результатов в табличном виде в файл file2.txt.

Файл dat1.dat содержит исходные данные в следующем формате (по строкам:

- 1-я строка – число рассматриваемых дефектов  $N$ ;
- 2-я и последующие ( $N$  штук) – каждая строка содержит описание физических и геометрических параметров трубы и параметров индентора в виде форматированного ряда чисел.

По результатам анализа при каждом наборе исходных данных во внешний файл записываются ряд выходных параметров. По каждому расчету – т.е. по каждой строке файла



исходных данных – записываются в строку 4 величины (в настоящий момент, список при необходимости может быть изменен): максимальное главное напряжение на наружной поверхности трубы, максимальное эквивалентное (по Мизесу) напряжение на наружной поверхности, максимальное главное и эквивалентное напряжения на внутренней поверхности. Кроме того, в отдельный файл записываются размеры образовавшейся вмятины. Запись форматирована: на каждую величину отводится 11 позиций, между собой величины разделены одним пробелом. С дальнейшим изучением комбинированных дефектов в выходной файл будут дописаны еще некоторые параметры, например, критическая длина трещины, коэффициент интенсивности напряжений и, пожалуй, одним из наиболее значимых параметров, долговечность.

Визуализация результатов в выбранном режиме пакетной обработки не предусмотрена – выходным файлом является только таблица. При проверке корректности работы программы такая визуализация проводилась (рис. 1–3); при необходимости она может быть сделана и в пакетном режиме с записью изображений полей напряжений у каждой из рассматриваемых вмятин в отдельный файл (графические форматы jpeg, tiff, png – по выбору).

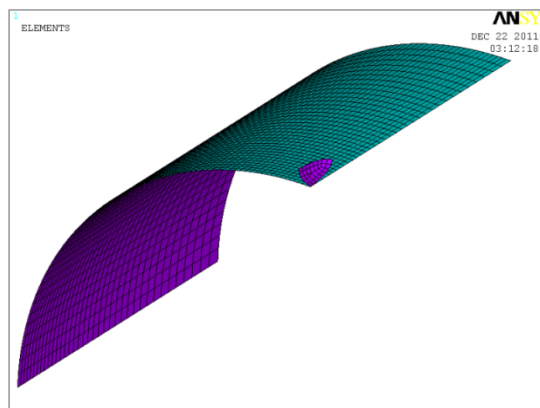


Рис. 1. Участок трубопровода и индентор. Сетка конечных элементов

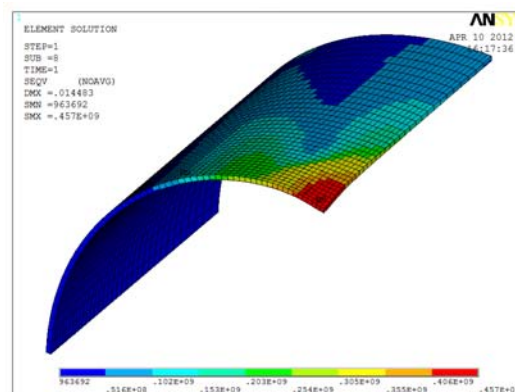


Рис. 2. Эквивалентные напряжения вблизи вмятины на этапе нагружения давлением



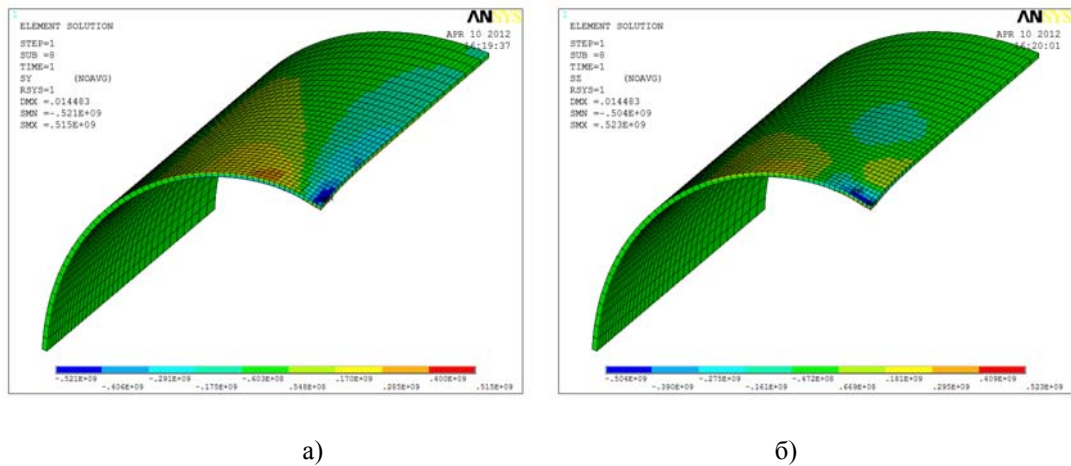


Рис. 3. Окружные (а) и осевые (б) напряжения вблизи вмятины на этапе нагружения давлением

На следующем этапе решения поставленных задач проведены исследования параметров воздействия и результатов расчета с целью выявления зависимостей для решения обратной задачи: определение воздействия по данным о физических и геометрических параметрах трубы и размерах вмятины.

## **ЭКСПРЕСС-МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЗОН ПОРАЖЕНИЯ ПРИ КАСКАДНЫХ АВАРИЯХ**

*Карионова Л.А.*

НИЦ «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН,  
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург  
sec@wekt.ru

*Полуян Л.В.*

НИЦ «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН,  
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург  
sec@wekt.ru

*Гурьев Е.С.*

НИЦ «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН,  
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург  
sec@wekt.ru

Как показывает статистика, самыми предрасположенными к каскадным техногенным авариям являются объекты химической, нефтегазодобывающей и перерабатывающей промышленности, а также трубопроводы и другие транспортные средства, поставляющее сырье или готовую продукцию. Проведенный анализ существующей нормативно-технической документации показал, что утвержденных методик расчета и оценки «эффекта домино» на уровне Ростехнадзора и ведомственных документов нет. В работе [1] проанализировано 150 случаев разрушений РВС, произошедших на объектах ТЭК СССР, СНГ и РФ за период с 1951 по 2010 г., из которых 55 аварий были с развитием эффекта домино. Начиная с 2013 г. в нормативных и руководящих документах указано на необходимость учитывать «эффект домино» при анализе риска. Разработка и внедрение методики оценки «эффекта домино» в нормативно-техническую базу является актуальным вопросом и требует времени.

Оценке развития каскадных аварий посвящено значительное количество зарубежных статей. Практически ни один журнал по риску, безопасности, надежности сложных технических систем не пропускает тему «домино-эффекта» на потенциально опасных объектах (ПОО). Основная часть этих исследований проводится с использованием программ, использующих вероятностно-статистический аппарат. В отечественных сертифицированных программных продуктах отсутствуют утвержденные методики, рекомендованные для практического использования при анализе риска развития каскадных аварий.

В настоящем исследовании представлена практическая методика оценки зон поражения при каскадных авариях на основе расчетного и графического модулей отечественного сертифицированного ПК «Токсириск» и дополнительно разработанного авторами алгоритма построения карт «опасности» домино – эффекта ПОО с использованием ГИС-технологий.

Алгоритм состоит в том, что сначала проводятся расчеты зон поражения по ПК «Токсириск», затем строятся графики зависимостей интенсивности излучения и силы взрыва от расстояния до источника опасности (эпицентра аварии), на которые наносятся соответствующие критериальные прямые. Кроме стандартного построения, предусмотренного ПК «Токсириск», строятся графики зависимостей трех параметров – интенсивности излучения, расстояния и времени (этот параметр добавляется). Из полученных графиков визуально определяется с какого момента времени, на каком расстоянии от эпицентра аварии (разрушенного резервуара) возникнет каскадный эффект, задается интервал «тревоги».

Проведены расчеты по оценке токсического каскадного поражения персонала и населения близлежащей селитебной территории.

Завершающим этапом является построение карт «опасности», на которых наносятся по оси ох (расстояние от эпицентра аварии) все объекты, включая объекты воздействия, на которых отсутствуют опасные вещества.

Графический анализ позволяет по карте «опасности» проанализировать реальную картину для всех составляющих объекта, попадающих в зоны поражения; возможность domino-переходов; дать оценку времени до каскадного развития аварии; определить переходы на верхние уровни развития аварий.

На примере резервуарного парка с бензином рассчитаны зоны поражения тепловым излучением при пожаре пролива и взрывном воздействии при заданных критериях интенсивности излучения и ударного воздействия.

Рассмотрены гипотетические аварии с различными исходными условиями (наличие общего и раздельного обвалования, отсутствие обвалования, гидродинамическая волна прорыва, расчет прорыва стенки обвалования, перехлест за него, скорость ветра, спектр низких и положительных температур, тип поверхности пролива и др.)

Методика предлагается к использованию в разделе анализа риска деклараций промышленной безопасности опасных производственных объектов. Карты «опасности», построенные для различных сценариев аварий, будут служить практическим наглядным руководством для лиц, обеспечивающих безопасность.

#### **Библиографический список**

1. Швырков С.А. Пожарный риск при квазимгновенном разрушении нефтяного резервуара. Диссертация на соиск. уч. степени д.т.н., Москва, 2013г.
2. Программный комплекс «Токсириск, версия 4.3».
3. Тимашев С.А., Полуян Л.В., Гурьев Е.С. Построение многофакторной модели потенциального территориального риска Безопасность критичных инфраструктур и территорий: Матер. VI Всеросс. конф. и XVI школы молодых ученых. Екатеринбург: УрО РАН, 2014. С. 225.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ  
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГОСУДАРСТВА ОТ  
ПРОТЯЖЕННОСТИ СЕТИ  
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ВНУТРИ  
СТРАНЫ**

*Ковальчук Т.Г.*

НИЦ «НиР БСМ» УрО РАН, г. Екатеринбург,  
sec@wekt.ru

*Никулина И.Г.*

НИЦ «НиР БСМ» УрО РАН, г. Екатеринбург,  
sec@wekt.ru

Транспортные инфраструктуры любого государства являются важной компонентой системы жизнеобеспечения общества. Сеть автомобильных дорог государства включает в себя скоростные шоссе, дороги с твёрдым покрытием и оформленные грунтовые.

В данной работе исследовалась зависимость некоторых социально-экономических показателей, определяющих качество жизни населения государства – доля населения ниже черты бедности, паритет покупательной способности, средняя ожидаемая продолжительность жизни – от протяженности сети автомобильных дорог внутри государства на миллион населения.

Анализ проведен на выборке из 42 стран, куда включены группа наиболее развитых стран, входящих в «Большую семерку», страны БРИКС, государства – бывшие республики СССР, и некоторые другие страны, имеющие различный уровень благосостояния [1].

В работе использовались официальные статистические данные, взятые из открытых источников [2–5].

Ниже, на рисунках 1–3, даны графические представления исследуемых зависимостей.

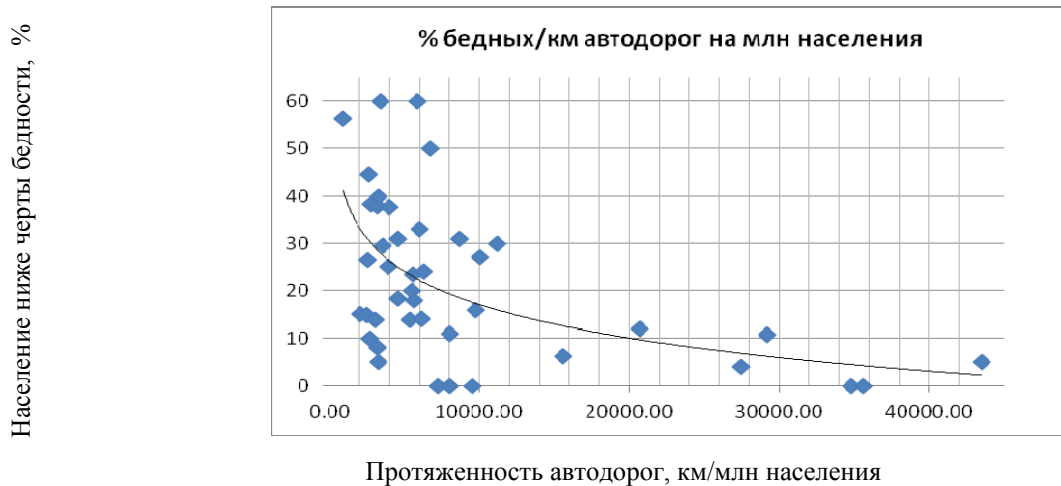


Рис. 1. Зависимость доли населения ниже черты бедности от протяженности автомобильных дорог на миллион населения

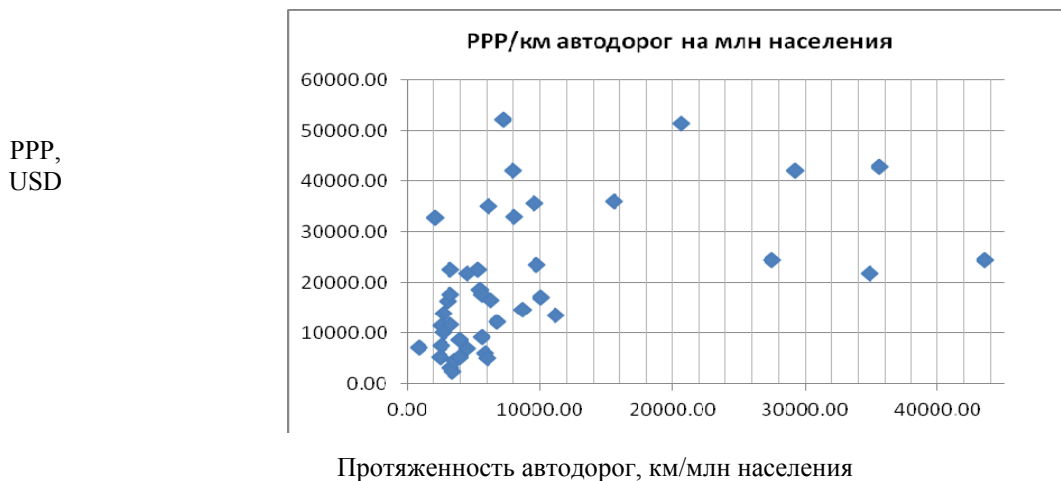


Рис. 2. Зависимость паритета покупательной способности (PPP) от протяженности автомобильных дорог на миллион населения

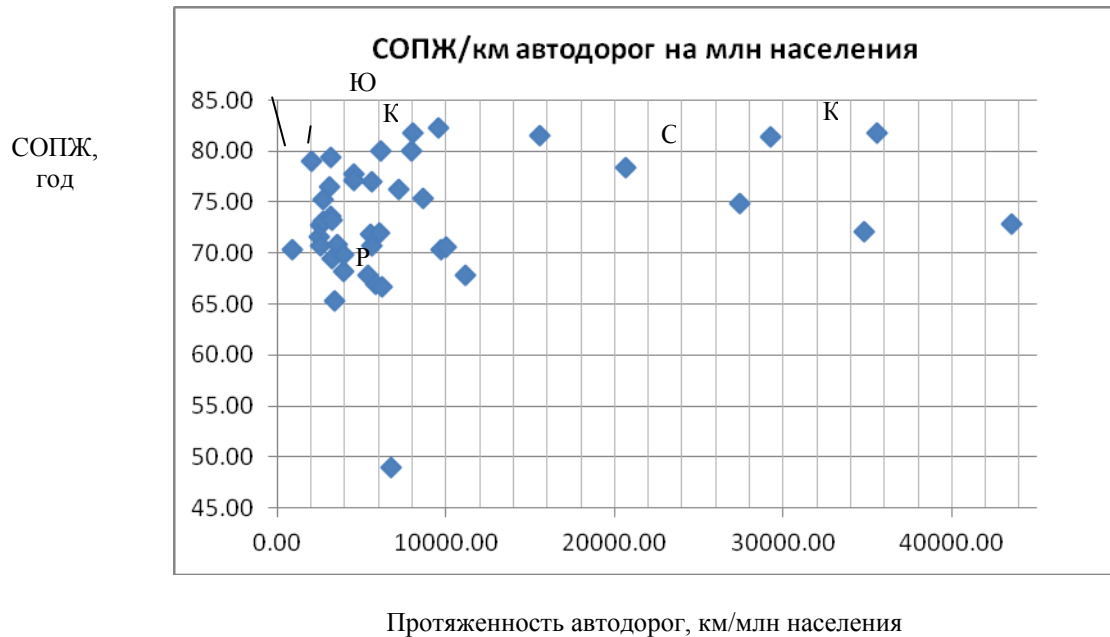


Рис. 3. Зависимость СОПЖ от протяженности автомобильных дорог на миллион населения

В целом, из представленных изображений можно увидеть некоторую зависимость улучшения качества жизни населения от увеличения протяженности автомобильной сети внутри государства. Нагляднее всего это прослеживается на рис. 1 и 2, где рассматриваются показатели доля населения ниже черты бедности и паритет покупательной способности. В то же время, как видно из рис. 3, показатель СОПЖ для многих стран не связан напрямую с развитостью автодорожной сети государства. Так, например, для Ю. Кореи, Китая, США и Канады, имеющих примерно одинаковую СОПЖ – около 80 лет, протяженности автодорог на млн населения значительно различаются. Вероятнее всего рост СОПЖ находится в большей зависимости от других критериев и факторов жизни внутри данного государства. Очевидно, что километры автодорог внутри страны зависят не только от экономического развития страны, но и от размеров площадей, занимаемых государствами, их географического положения, климатических условий. Поэтому, естественно, что маленькие по своим размерам государства, не могут иметь протяженную транспортную сеть, но высокий уровень жизни населения в них возможен и подтверждается примерами.

#### Библиографический список

1. Тимашев С.А., Никулина И.Г., Ковальчук Т.Г. Определение корреляционной связи средней ожидаемой продолжительности жизни с удельным энергопотреблением // Сб. тез. Междун. конф. «Экономические и технические аспекты безопасности строительных критичных инфраструктур» SAFETY2015. Екатеринбург, УрФУ, 2015. С. 133–136.
2. [http://www.yestravel.ru/world/rating/economy/population\\_below\\_poverty\\_line](http://www.yestravel.ru/world/rating/economy/population_below_poverty_line).
3. <http://ru.tradingeconomics.com/country-list/gdp-per-capita-ppp>.
4. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Список\\_стран\\_по\\_ожидаемой\\_продолжительности\\_жизни](https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_стран_по_ожидаемой_продолжительности_жизни)
5. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Список\\_стран\\_по\\_длине\\_сети\\_автомобильных\\_дорог](https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_стран_по_длине_сети_автомобильных_дорог)

**II Международная конференция  
«Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур»**

**К ОЦЕНКЕ РИСКА АВАРИЙ НА ОПАСНЫХ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ**

*Лабинцева П.С.*

НИЦ «НиР БСМ» УрО РАН, г. Екатеринбург,  
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
sec@wekt.ru

*Полуян Л.В.*

НИЦ «НиР БСМ» УрО РАН, г. Екатеринбург,  
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
sec@wekt.ru

*Гурьев Е.С.*

НИЦ «НиР БСМ» УрО РАН, г. Екатеринбург,  
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
sec@wekt.ru

**26-27 июня 2016 года,  
Екатеринбург, Россия**



Разработана методика оценки риска для опасных производственных объектов (ОПО) химической промышленности, позволяющая на топографической основе с учетом дифференцированного распределения персонала объекта и населения дать практический инструмент для лиц, принимающих решения по обеспечению техногенной безопасности территорий промышленных муниципальных образований.

Оценка потенциального риска для химически опасных производственных объектов основана на вероятностно-статистическом моделировании ЧС с использованием ГИС-технологий [1, 2].

При оценке риска гипотетических аварий на предприятиях нефтехимической отрасли трехпараметрический закон распределения Вейбулла [1] наиболее адекватно описывает токсическое поражение человека для индивидуальных АХОВ (хлора, аммиака, хлористого и цианистого водорода, диоксида серы, азота и др. и др.). Параметрические законы токсического поражения для таких веществ определяются с использованием пробит-анализа, пробит-функции известны и используются при расчетах токсических поражений в ПК «Токси+риск», версия от 4.3 [3]. Однако для смесевых композиций химических веществ, широко применяемых в химической промышленности, пробит-функции не определены, не установлены для них и значения токсодоз. В этом случае определение величин критериев опасности смесевой химической продукции проводятся интерполяцией значений для отдельных компонентов, составляющих смесь [4].

Предлагаемая методика распространяется на все виды АХОВ и реализована в алгоритме, использующем модули программных комплексов «MathCad 15» и «Statgraphics Centurion XVII», и состоит из следующих этапов:

- формирование и форматирование баз исходных данных для процедур расчета;
- нанесение на топографическую основу объекта с условной сеткой координат;
- определение матрицы математического ожидания числа людей, попадающих под воздействие поражающих факторов;
- расчет испарения масс химических аварийных выбросов, участвующих в создании токсических поражений (для индивидуальных и смесевых АХОВ) [3];
- нахождение вероятностей реализации рассматриваемых сценариев аварии с учетом износа оборудования;
- построение нелинейной регрессионной модели зависимости частоты выброса и массы аварийно химически опасного вещества (АХОВ);
- определение параметрических законов токсического поражения человека;
- определение взаимосвязи параметрического и координатного законов поражения от выбросов АХОВ;

- расчет риска (потенциального, коллективного, индивидуального);
- моделирование аварий и графическое построение визуальных моделей зон поражения и распределения риска (в форматах 2D, 3D).

Использование предлагаемой методики анализа риска позволяет получить объективную информацию о степени опасности объекта на любой стадии жизненного цикла ОПО, построить трехмерное распределение риска, как для индивидуальных АХОВ так и их смесевых композиций, проранжировать прилегающую территорию по уровням риска, выявить селитебные территории с предельным уровнем риска и принять меры его снижения. Методика может быть дополнительным инструментом при разработке деклараций промышленной безопасности ОПО.

Реализация алгоритма апробирована на реальных промышленных объектах химического профиля.

#### **Библиографический список**

1. Козлитин А.М. Развитие теории и методов оценки рисков для обеспечения промышленной безопасности объектов нефтегазового комплекса. Диссертация на соиск. уч. степени докт. техн. наук, Саратов, 2006 г.
2. Тимашев С.А., Полуян Л.В., Гурьев Е.С. Построение многофакторной модели потенциального территориального риска Безопасность критичных инфраструктур и территорий: Матер. VI Всеросс. конф. и XVI школы молодых ученых. Екатеринбург: УрО РАН, 2014. С. 225.
3. Программный комплекс «Токси+риск, версия 4.3».
4. Титушкин В.А., Гурьев Е.С., Полуян Л.В. Основные токсические опасности коксохимической продукции при воздействии на организм. Кокс и Химия, 2015. №12, С. 38–43.

## **АКТИВНАЯ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ ФУНДАМЕНТОВ ТУРБОАГРЕГАТОВ**

*Лавелин В.Е.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
vitaliylavelin@gmail.com

*Ямов В.И.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

Для исправной работы машин с динамическими нагрузками периодического действия, таких как турбоагрегаты, требуется устройство фундаментов, отвечающих требованиям не только прочности, но и безопасной и безотказной эксплуатации машины. В качестве таких фундаментов, как правило, используются массивные или рамные фундаменты.

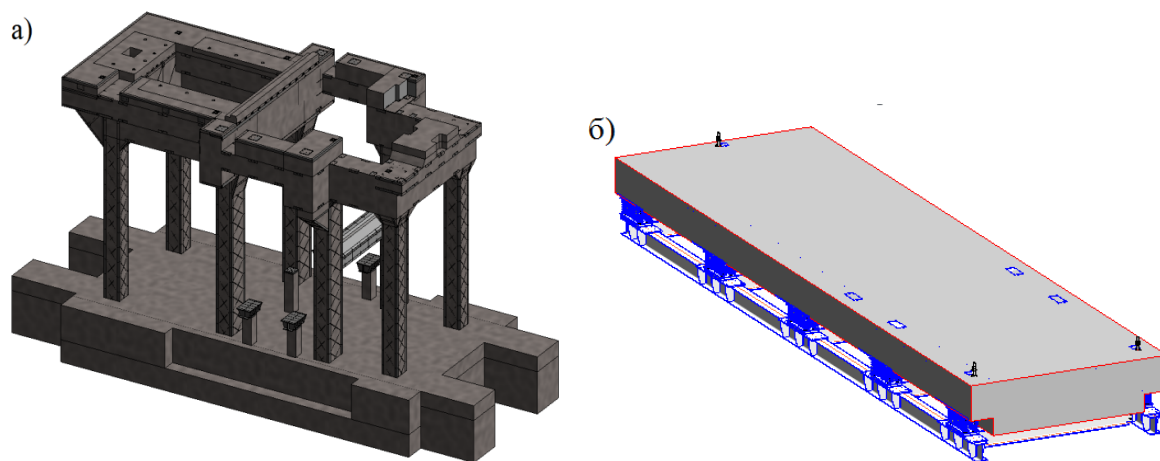


Рис. 1. а – рамный фундамент; б – массивный фундамент на виброизоляторах

Одной из основных проблем при расчётах системы Турбоагрегат-Фундамент-Основание (ТФО) является, как правило, обеспечение динамической устойчивости, то есть предотвращение сверхнормативных вибраций.

Вопросы проектирования фундаментов турбоагрегатов и динамического расчёта пространственных рамных конструкций рассматривались в работах Г.Г. Аграновского, Е.Г. Бабского, О.А. Савинова, Б.В. Цейтлина, И.С. Шейнина и др. [2, 3].

Вопросами борьбы с вибрацией занимались О.А. Савинов, Б.В. Цейтлин, И.С. Шейнин и др. В основу проектирования активной виброизоляции закладывался подбор коэффициентов жесткости и проверка прочности конструкции виброизоляторов с последующей окончательной проверкой фундамента на колебания. [4, 5].

В настоящий момент для мощных машин (более 300 МВт) бывает очень сложно обеспечить зарезонансную работу, путём устройства высоконастроенного фундамента, ввиду ограниченного пространства. Поэтому низконастроенные фундаменты с достаточно гибкими колоннами оказываются целесообразными. Однако в данном случае отстройка первого тона свободных колебаний от рабочей частоты оказывается недостаточным. Необходимо определять частоты более высоких тонов, чтобы быть уверенным, что они не находятся вблизи частоты возмущающей силы. Однако даже при тщательном конструировании и составлении расчётной схемы бывают ситуации, когда одна из частотных зон собственных колебаний фундамента попадает в резонанс с обратной частотой машины. В таком случае

необходимо предусматривать мероприятия по противодействию сверхнормативной вибрации.

Одним из таких мероприятий является активная виброизоляция – применение виброизолирующих устройств в виде стальных пружин и демпферов. В расчетах на колебания фундамент можно рассматривать как систему, состоящую из двух твердых тел, соединенных между собой упругой связью с заданной жесткостью.

Предметом исследования являются виброизолированные фундаменты турбоагрегатов. Целью исследования является изучение технической целесообразности применения активной виброизоляции в виде стальных пружинных элементов.



Рис. 2. Пружинная виброопора

Конструктивно пружинная виброопора представляет собой несколько стальных цилиндрических пружин, установленных между двумя сварными металлическими корпусами. Несущая способность виброизоляторов варьируется от нескольких ньютонов до 1300 кН. При этом собственная частота в вертикальном направлении (как правило, оно является определяющим) изменяется от 1.2 Гц до 6 Гц. Выбор конкретного типа виброизолятора определяется массой устанавливаемого оборудования, требованиями по деформациям и необходимыми значениями собственных частот для не превышения амплитуд колебаний.

Применение виброизолирующих устройств со стальными пружинами, в первую очередь, позволяет исключить из динамического анализа часть системы, находящуюся под виброизоляторами – нижнюю плиту с основанием. Как известно, демпфирующие свойства основания при динамическом анализе зависят от коэффициентов жесткости и, при отсутствии экспериментальных данных, определяются по эмпирическим формулам в зависимости от модуля деформации грунта, усредненного по глубине сжимаемой толщи, что является приближенным методом оценки свойств основания. Кроме того, в случае наличия в основании фундамента рыхлых или мелких и пылеватых водонасыщенных песков, а также

текучих и текуче-пластичных глинистых грунтов применение виброизоляции обязательно. Поэтому тот факт, что на нижнюю фундаментную плиту, а значит и на основание, будет передаваться лишь статическая нагрузка от веса вышележащей части системы, позволит получить гарантированно более надежную конструкцию фундамента.

Возможность регулирования высотного положения виброизоляторов уже после установки машины на фундамент бывает необходима в случае неравномерных осадок основания. При помощи домкратов и набора стальных пластин, толщиной от 0.1 до 10 мм можно изменить высотное положение каждого отдельно взятого виброизолятора.

Срок службы пружинных виброизоляторов значительно превышает срок службы установленного на них оборудования в случае соответствующей защиты от коррозии.

### **Заключение**

В результате краткого обзора конструкций фундаментов турбоагрегатов и рассмотрения активной виброизоляции при помощи стальных пружинных изолирующих устройств можно выделить следующие области применения данного решения:

- при реконструкции существующих фундаментов и сохранении нижней части фундамента;
- при наличии в основании рыхлых или мелких и пылеватых водонасыщенных песков, а также текучих и текуче-пластичных глинистых грунтов;
- при установке турбоагрегата на общую фундаментную плиту машинного зала станции;
- при невозможности отстройки собственных частот от резонанса конструктивными мероприятиями;
- при установке на существующий фундамент турбоагрегатов большей мощности;
- и т.д.

Применение виброизоляторов даёт большую гибкость при принятии решений о конструкции фундамента турбоагрегата, обеспечивает необходимый режим работы, отвечающий требованиям безопасной эксплуатации. Данное решение позволяет регулировать высотное положение оборудования путём установки дополнительных стальных пластин, в случае неравномерных осадок основания.

Можно отметить, что активная виброизоляция порой является единственным возможным решением по устройству фундаментов турбоагрегатов и требует дальнейшего изучения с целью более эффективного её применения.

### **Библиографический список**

1. Абашидзе А.И., Сапожников Ф.В., Казанджян А.Т. Фундаменты машин тепловых электростанций. М.: Издательство «Энергия», 1975.

2. Абросимов Н.А., Крылов А.В., Светушков В.В. Натурные наблюдения за вибрационным состоянием фундамента турбоагрегата мощностью 1200 МВт. // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2008. Т.251. С. 77-82.
3. Пермякова В.В., Лебедева Н.А., Пожиткова О.А., Томашевский А.В., Кирилина В.Н., Эсперов Д.Г. Статические и динамические испытания ненагруженного фундамента турбоагрегата Т-130/160-12,8+ТЗФП-160-2ПГУ-220. // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2004. Т.244. С. 151-158.
4. Цейтлин Б.В. Динамический расчет фундаментов мощных турбоагрегатов. // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. Сборник научных трудов, - 1978, т. 127, - с. 70-79.
5. Foundations for vibration machines, Shamsheer Prakash, Vijay K. Puri // Special Issue, April-May 2006, of the Journal of Structural Engineering, SERC, Madras. INDIA
6. GERB. Vibration Control Systems, 10 Edition. // Germany, 2000/01.

**II Международная конференция  
«Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур»**

**МЕТОДЫ ЭНЕРГОПАССИВНОГО  
СТРОИТЕЛЬСТВА – ПРОЕКТ «КРАСНЫЙ  
ДВОР» В БРЕСТЕ, БЕЛОРУССИЯ**

*Мальцева И.Н.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
3724316@mail.ru

*Батурин А.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
mr.artem.baturin@yandex.ru

*Пантелеева А.А.*

Уральский государственный архитектурно-художественный университет,  
г. Екатеринбург,  
panteleeva.a.a@bk.ru

*Сербин С.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
andrey-sergey.serbin@yandex.ru

**26-27 июня 2016 года,  
Екатеринбург, Россия**



Технический прогресс и нерациональное использование ресурсов приводят к нарушению природного равновесия. Эта проблема является актуальной в современном мире и не обходит стороной архитектуру и строительство. Возникают насущные вопросы: как человек должен взаимодействовать с природой, как он может получать необходимую для жизни энергию и как должно быть устроено пространство, комфортное для человека и не несущее вреда природе? Изучив передовой опыт и литературу, была сделана попытка выявить ключевые моменты и откликнуться на них в проекте жилого квартала «Красный двор» для умеренно-континентального климата в г. Бресте, Беларусь в рамках конкурса, проводимого группой компаний «SAINT-GOBAIN» и «IZOVER».

Зелёная артерия района - связь всех парков и кварталов зеленым коридором



Рис. 1. Схема организации территории «Красный двор»

Парки и зеленые аллеи сильно влияют на уровень комфорта проживания, поэтому важно продумать непрерывный естественный каркас. На основе анализа существующего озеленения была спланирована сеть зеленых коридоров и парков. Каждый квартал (блок) строится вокруг зеленого островка – дворового пространства. Модуль нанизывается на зеленые оси таким образом, чтобы соединить все кварталы, общественную зону и парки. В результате из любой точки можно пересечь весь район пешком или на велосипеде по зеленой зоне. В каждом модуле около парка расположена зарядная станция для электромобилей и пункт велопроката (рис. 1).

На уровне первых этажей кварталов и в угловых зданиях размещены административно-торговые помещения. Прозрачность и разнообразие фасадов магазинов и угловые общественные здания в роли доминант обеспечивают качество уличных видов. Из места транзита улица превращается в полноценное общественное пространство, где приятно находиться. Для кварталов было выявлено по 3 наиболее благоприятных по отношению к ветру и инсоляции варианта размещения домов. Комбинируя тип и количество используемых секций, размещение домов в квартале и тип фасада создается гибкая система создания кварталов с учётом любых требований, обеспечивающая неоднотипную, но модульную застройку.

Форпост – характерный для Белоруссии и Бреста образ борьбы и самоопределения, был взят за основу образа. Защита от нападений трансформируется в защиту внутреннего пространства двора, в защиту природы, создание уюта и безопасности. В образе фасада ключевую роль играют светлое дерево, краснокирпичного цвета деревянная плитка, озеленение. Таким образом, были использованы наиболее характерные для Белоруссии цвета: красный, зеленый, белый. Была сделана попытка, чтобы наш дом откликнулся на основные генотипы уже существующей застройки. Были использованы формы современной архитектуры. Применение краснокирпичной деревянной плитки перекликается с кирпичным стилем, соотношение темной кровли и светлого тела здания – с польским стилем. Образ зеленой архитектуры создается за счёт обильного озеленения фасада, кровли и буферных зон, а так же использования дерева (рис. 2).

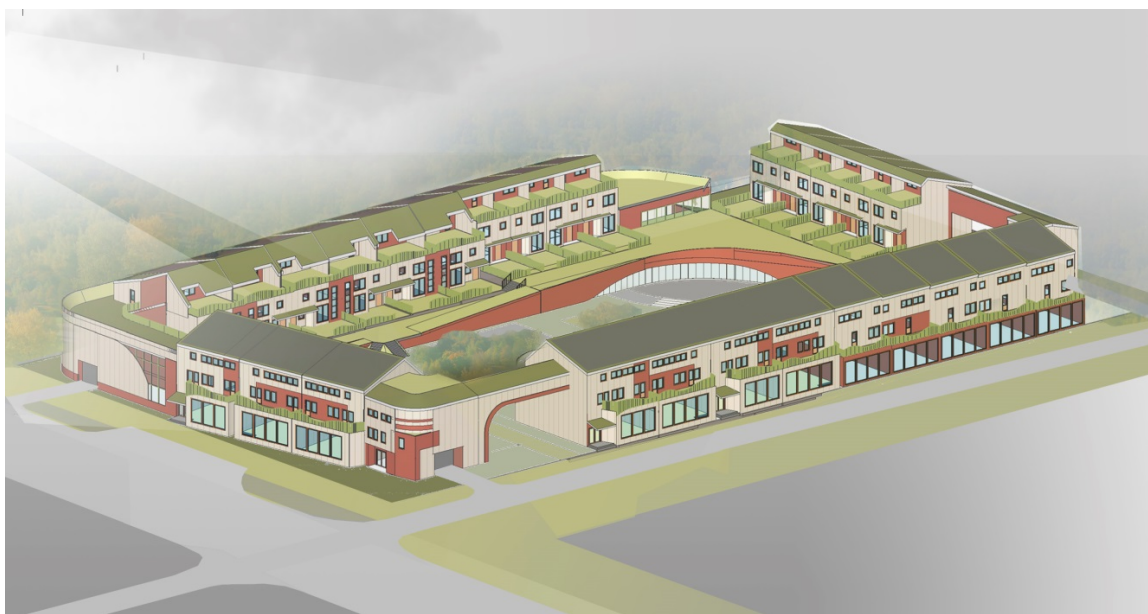


Рис. 2. Видовой кадр квартала «Красный двор»

Вода, ветер, земля, солнце – мы постарались использовать энергию всех стихий.

Возобновляемая энергия земли – это геотермальные тепловые насосы. Недра земли подогревают U-образные трубки-коллекторы тепловых насосов, тем самым запуская процесс получения большого количества энергии земли. Вертикальное бурение очень дорогое, а горизонтальное нарушает экологичность земли на большой площади. Мы предлагаем гибрид этих методов – кластерное бурение. Благодаря наклонному расположению скважин, можно сэкономить на бурении и площади земли, не потеряв при этом энергию.

Река Мухавец – это не только кусочек природы среди городской застройки, но также источник энергии: кинетической и тепловой. Все больше набирают популярность турбины, генерирующие энергию воды в электричество. Мы предлагаем не только установить такие, абсолютно экологически чистые агрегаты, но и обустроить их расположение Spa-салонem, рестораном и аквапарком. Тепловую энергию, заключенную под слоем льда даже в сильные морозы, мы используем, подключив к ранее упомянутому тепловому насосу U-образные трубки, протянутые на десятки метров на глубине реки.

Не раз мы слышали о ветряных турбинах, обладающих определенными недостатками для окружающей среды: сильный шум и убийство птиц. В нашем квартале будут использованы два вида ветрогенераторов, не доставляющих подобных неудобств. Во-первых, это ветрогенератор Saphonian, который работает на физическом процессе колебаний, не только бесшумно и экологично, но и добывая в 2 раза больше энергии, чем обычная ветротурбина (рис. 3).

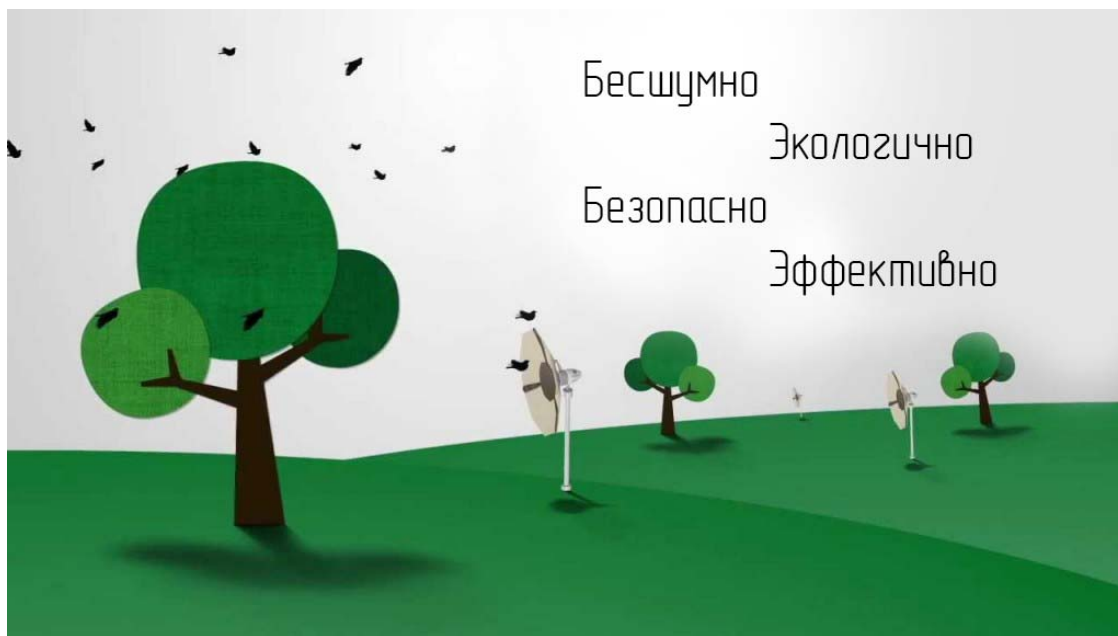


Рис. 3. Ветрогенератор Saphonian

Во-вторых, мы используем турбины LiamF1, чтобы защитить наш двор от продувания. Наиболее широкие пролеты между домами мы перекроем арками, расположив над ними подобные турбины (защитив в том числе бедных птиц) (рис. 4).





Рис. 4. Турбины LiamF1

Солнечные батареи сейчас очень распространены. Зарядка Electree также становится всё более известной. Принцип её действия открыл Айдан Дуайер. Прогуливаясь по лесу, он заметил, что у всех деревьев ветки расположены в особой закономерности. Расположив таким же образом солнечные батареи, молодой гений увеличил КПД такой конструкции летом на 20%, а зимой на 50%, относительно обычных батарей. Именно этот принцип и использует зарядка Electree (рис. 5).



Рис. 5. Electree

Мы предлагаем «посадить сад» таких деревьев. Также было принято решение разместить солнечные батареи на крышах домов. Мы рассчитали получаемую ими энергию в программе PVWatts.

По проекту предполагается использование ветряных деревьев высотой 7 метров. Такие деревья сейчас украшают коммуну Плёмёр-Боду в Бретани на северо-западе Франции.

Основными критериями для выбора конструктивных решений в нашем проекте стали экологичность, легкодоступность в районе строительства и основные характеристики материалов. В качестве конструкционного материала был принят LVL брус. LVL-брус – конструкционный материал, изготовленный по технологии склейки нескольких слоев лущеного шпона хвойных пород толщиной порядка 3 мм. В условиях данной застройки является самым выгодным решением, так как на территории Белоруссии самыми распространенными деревьями являются сосна и ель (из хвойных), берёза (из лиственных).

Деревянные конструкции из бруса LVL выгодно отличаются от других строительных материалов: они более экологичны, долговечны, имеют малую массу, быстромонтируемые, при сборке, используется меньше подъемной техники и не требуются сварочные работы (рис.6). Деревянные конструкции эстетичны и хорошо сочетаются с большими витринами и окнами, LVL отлично сохраняет форму, устойчив к агрессивным средам, обладает большим запасом прочности и высокой несущей способностью при меньших размерах сечения. После окончательной отделки здание не уступает по своим характеристикам традиционным зданиям из металла, бетона или кирпича.



Рис. 6. Деревянные конструкции из бруса LVL

Для сооружения перекрытий, в стропильных системах, в вертикальных несущих конструкциях было принято решение использовать двутавровые балки изготовленных склейки нескольких слоев лущеного шпона хвойных пород вместо балок из цельной древесины. Широкие и длинные пиломатериалы дороги и дефицитны. Поэтому они заменяются недорогими конструкциями, в которых LVL или пиломатериалы используются в качестве поясов, а OSB (древесностружечные плиты с ориентированной стружкой) или фанера – в качестве стенок.

LVL по причине многослойности, меньшей пористости и насыщенности смолой, еще более устойчив к огню, а при обработке антипиренами можно получить 1 или 2 степень огнестойкости конструкции.

В проекте использована централизованная механическая система вентиляции, которая снабжена автоматическими противопожарными клапанами, расположенными на каждом этаже. В связи с тем, что отопительной системой были выбраны геотермальные источники, то нужна соответствующая система вентиляции. Такой является система микроклимата Zehnder Comfosystems (рис. 7).



Рис. 7. Система микроклимата Zehnder Comfosystems

Вентиляционные системы Zehnder снабжены теплообменниками, работающими по принципу перекрестного противотока. Они рекуперируют тепловую энергию отработанного воздуха и отдают ее свежему воздуху, что снижает расходы на отопление почти на 40%.

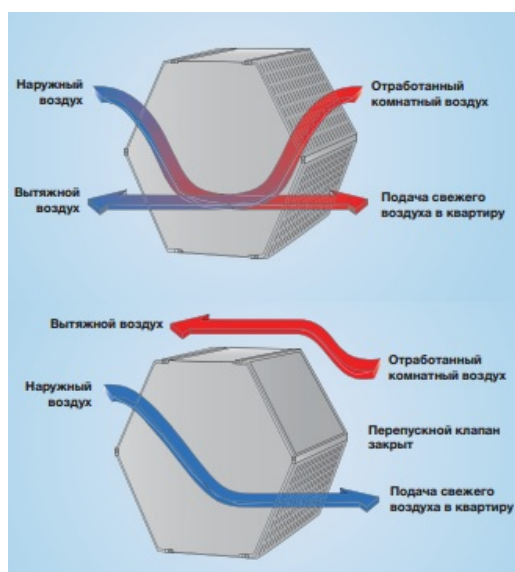


Рис. 8. Летний пропускной клапан

С помощью пластинчатого энтальпийного теплообменника в здании поддерживается оптимальный уровень влажности. Это особенно важно в зимнее время, когда комнатный

воздух становится более сухим. Водяной пар «конденсируется» из влажного отработанного воздуха и впитывается мембраной. Полученная влага и тепло передаются приточному воздуху, при этом предотвращается передача микробов и неприятных запахов.

Система снабжена летним перепускным клапаном. Его задача – проводить отработанный воздух мимо теплообменника. Это позволяет избежать ситуации, когда охлажденный теплообменником летний приточный воздух подогревается теплым отработанным воздухом. Эта функция может оказаться полезной и в прохладную летнюю ночь (рис. 8).

#### **Библиографический список**

1. Вольфганг Файст. Основные положения по проектированию пассивных домов/ Вольфганг Файст (перевод с немецкого с дополнениями под редакцией А. Е. Елохова). М.: Изд-во АСВ, 2011.
2. Смоляр, И. М. Экологические основы архитектурного проектирования / И. М. Смоляр, Е. М. Микулина, Н. Г. Благовидова. - М. : Академия, 2010. - 157 с.
3. Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические агрегаты, 2006.
4. Кашкаров А.П. Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции, 2011.
5. Берман Э. Геотермальная энергия. 1978.
6. Каргиев В.М. Руководство по применению ветроустановок малой и средней мощности, 2010.
7. Details for Wood Frame Construction
8. Научно-технический журнал дерево-обрабатывающая промышленность спецвыпуск ЛВЛ
9. СТО 36554501-021-2010 Полная информация для проектирования и применения конструкций с ЛВЛ Ultralam
10. СП 64.13330.2011 Деревянные конструкции
11. Системы микроклимата Zehnder Comfosystems <http://new-in.ru/doc/zehnder.pdf>

## **КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ФЕРМ НА УРАЛЕ**

*Миндиярова Т.Н.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
tanechka393@gmail.com

*Каганович Н.Н.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
iris-blue@yandex.ru

*Мальцева И.Н.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
3724316@mail.ru



Сельское хозяйство – одна из системообразующих отраслей экономики любой страны. Оно связано со многими отраслями промышленности (пищевой, химической и др.), образуя агропромышленный комплекс, основной задачей которого является надежное обеспечение страны продовольствием и сельскохозяйственным сырьем.

В отличие от промышленности сельскохозяйственное производство ведется на обширных пространствах, где различны рельеф, климат, почвы. В сельском хозяйстве многие производственные процессы носят сезонный характер, так как связаны с естественными условиями роста растений и развития животных. Природные условия в большей степени влияют на процесс и результат сельскохозяйственного труда, чем промышленного [1].

С введением запрета на ввоз продовольствия из ряда стран, в России начинается процесс импортозамещения. Самое время укрепить позиции на национальном рынке наших производителей. В последние годы в сельскохозяйственной отрасли реализуются крупные инвестиционные проекты. Ведется переоснащение предприятий. В целом российский агропромышленный комплекс демонстрирует положительную динамику в 2015 году, но есть сложности с обеспечением внутреннего рынка овощами и фруктами, особенно в зимний период. Причины этого в высокой требовательности овощных растений к факторам роста и технологической дисциплине при выращивании. Важное значение имеет также то, что в России мало районов с благоприятным для выращивания овощей климатом. Большая часть территории лежит в зоне рискованного земледелия. На больших пространствах урожайность сильно колеблется в зависимости от погодных условий. Не решены проблемы транспортировки овощей из мест удобного производства к местам активного потребления. Хранение и перевозку их затрудняет высокое содержание воды. Без устранения дефицита свежих овощей и фруктов в рационе питания поддержание здоровья и высокой трудоспособности населения невозможно [2].

Собственно, традиционное сельское хозяйство приводит к целому ряду проблем, которые в долгосрочной перспективе могут негативно сказаться на количестве урожая. Во-первых, это опустынивание земель, которое происходит вследствие постоянной работы людей. Во-вторых, жителям больших городов приходится мириться с внушительными издержками, которые возникают из-за доставки продуктов питания от места где их выращивают до города. Наконец, не стоит забывать массу вредителей, таких как сорняки, жуки и прочее, что не дает спокойно жить фермеру и негативно влияет на издержки. К тому же по прогнозам ученых к 2050 году практически 80 % жителей планеты будут проживать в городских центрах. Население Земли еще в октябре 2011 года переступило порог в 7 миллиардов человек. Приблизительно через 40 лет население увеличится до 9 миллиардов,

поэтому проблема рационального использования ресурсов планеты особенно актуальна в наше время [3].

За последние 100 лет урбанизация России увеличилась более чем в 4 раза. А именно, доля населения в городских районах увеличилась с 17.5% в 1914 году, до 74.2% в 2014. По результатам первой всеобщей переписи населения Российской империи 1897 года доля городского населения составляла 14.7%. Соотношение городского и сельского населения России представлено на рис. 1.

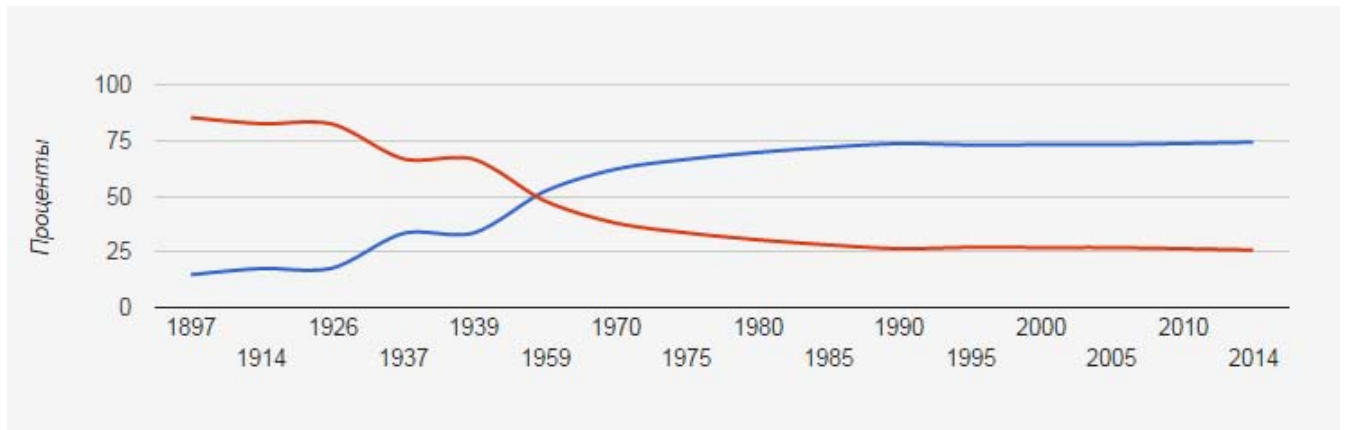


Рис. 1. Соотношение городского и сельского населения России

На 1 января 2014 года доля населения в городских районах страны составляет 74.2% или 106 549 000 человек. Соответственно, в сельской местности проживает 25.8% или 37 118 000 человек [4].



Рис. 2. Агропромышленный комплекс «Вертикальная ферма»

Для выращивания и производства достаточного количества продукции понадобится приблизительно 109 гектаров новой, при том что будут использоваться традиционные методы ведения сельского хозяйства, осуществляемые сегодня. В настоящее время для выращивания зерновых культур во всем мире используется более чем 80 % подходящей для этого земли (источники: ФАО и НАСА). Исторически сложилось так, что приблизительно 15 % земель бездумно растрачиваются по причине неэффективных методов управления [5].

Решением для избегания существующих и надвигающихся проблем мы предлагаем проект агропромышленного комплекса «Вертикальная ферма».

Вертикальная ферма – обобщённое название высокоавтоматизированного агропромышленного комплекса, размещенного в специально спроектированном высотном здании, а также название самого здания. Главное отличие вертикальных ферм от традиционных тепличных хозяйств и животноводческих ферм — это интенсивный подход к использованию территории, вертикальное многоярусное размещение насаждений. По сути, ферма представляет собой высокоэтажную автоматизированную теплицу, в которой насаждения будут размещаться на разных ярусах здания. Вертикальные фермы сами создают все необходимые условия не только для выращивания сельскохозяйственных культур или растений, но и для животноводства. Также такие фермы будут способны перерабатывать углекислый газ, очищать техническую воду, вырабатывать электроэнергию из биотоплива и многое другое. Продукты могут выращиваться круглый год, независимо от внешней температуры и погодных условий. Выращивание продуктов будет осуществляться с помощью гидропонных ферм (выращивание растений не в почве, а в специальном питательном растворе), чтобы сократить потребление энергии (они будут приведены в действие процессами, которые преобразовывают сточные воды в электричество) и производить больше пищи [6]. Спроектированное здание имеет переменную этажность – 2 и 20 этажей. Высота основных этажей – 4050 мм. 8, 14 и 20 этажи – технические, их высота – 2700 мм.

Агропромышленный комплекс состоит из 2-х функциональных частей:

- Научно-исследовательская часть
- Производственная часть.

Научно-исследовательская часть включает в себя два этажа, подвал и эксплуатируемую «зелёную» кровлю. На первом этаже расположены: столовая, со своим блоком кухни и вспомогательных помещений, пункт охраны, гардероб, видеозал, главная лестница типа 2, лифт – которые соединяет вестибюль. От вестибюля ведут два коридора вдоль классов, лабораторий, помещения для выдачи чистой спецодежды, административных, подсобных помещений (расположенных в центре блока, между коридорами), конференц-зала

к зимнему саду, который является зоной отдыха. Эти два коридора соединены между собой коридором в центре блока. При подъеме по главной лестнице открывается фойе, в котором расположился копировальный центр, проход в производственную часть здания, застекленный балкон с выходом во второй свет столовой и с выходом на эксплуатируемую «зеленую» кровлю над кухней. По такой же схеме, как и на первом этаже, расположены лабораторные ячейки и классы, помещение сбора грязной одежды, подсобные помещения. А коридоры ведут ко второму свету зимнего сада, огражденного стеклянной перегородкой. Предусмотрена вторая лестница, типа 1, с выходом наружу. С неё можно попасть на эксплуатируемую «зеленую» кровлю, расположенную над вторым этажом научно-исследовательского блока. Эвакуация из научно-исследовательского блока здания осуществляется по коридорам, по лестнице типа 1 непосредственно наружу и типа 2 через холл. Кухня столовой и помещение для выдачи чистой одежды имеют отдельные выходы наружу.

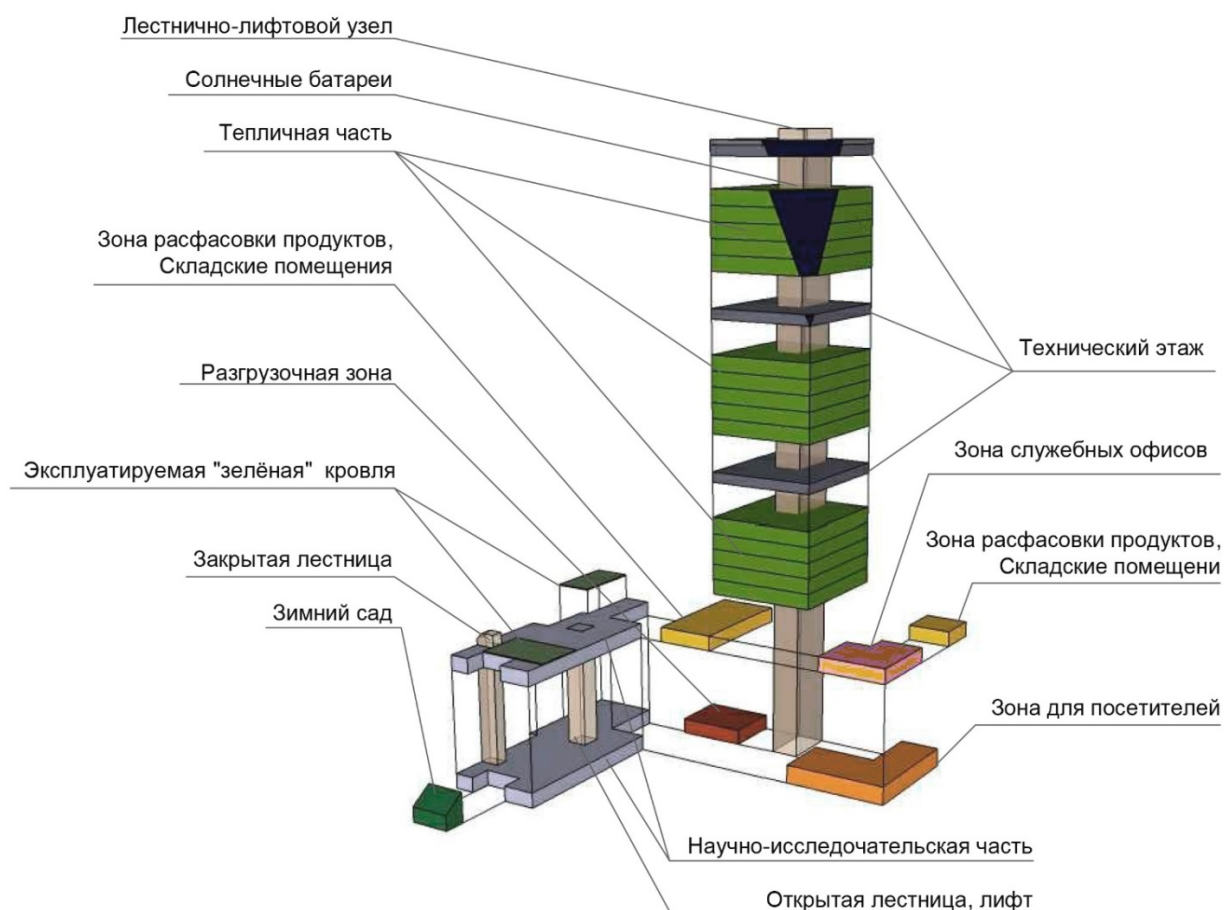


Рис. 3. Функциональная схема здания

Производственная часть включает в себя двадцать этажей, подвал. Первый этаж разделен на две зоны – общественную и служебную. В общественную зону можно попасть с главного входа производственного блока. В этой части расположились: кафетерий (со своими вспомогательными помещениями), магазин, выставочный зал из которого можно

попасть в видеозал научно-исследовательского блока. В служебную часть можно попасть со служебного входа. Там расположены служебные помещения, а также разгрузка расфасованных продовольствий, которые выращены в вышерасположенных гидропонных теплицах. Второй этаж производственной части здания также поделен на две зоны: зона служебных офисов с отдельным доступом к пассажирским лифтам и выходом в научно-исследовательский блок. И зона складирования продуктов и расфасовки с отдельным доступом к грузовым лифтам. Выше второго этажа расположены гидропонные теплицы, на каждом этаже с теплицей находятся служебные офисы, лаборатории, вспомогательные помещения. Этажи 8, 14 и 20 – технические этажи. Через все 20 этажей производственной части здания проходят две трехмаршевые лестницы типов Н2 (которая имеет выход наружу) и Н3, и 4 лифта, два из которых – грузовые, крупногабаритные. Также через все эти этажи проходит мусоропровод, с отдельным выходом на первом этаже. Эвакуация из производственной части здания происходит по коридорам и лестницам. Имеется лифт, предназначенный для транспортирования пожарных во время пожара.

Для маломобильных групп населения предусмотрены как лифты, пандус, подъёмник, специально оборудованные сан.узлы. Входы в здания имеют ширину 1200 мм. Глубина площадок при входах, а также глубина тамбуров не менее 1500 мм. Для эвакуации маломобильных групп населения из высокой части здания, предусмотрен лифт, напротив которого есть комната, отстоя, имеющая подпор воздуха.

Такие сооружения предлагается возводить как в системе города, возводя промышленные небоскребы. Так и в системе жилого района, возводя для этого небольшие фермы-магазины в 3-5 этажей, по мере необходимости для района. Для этого спроектированы отдельные модули для строительства ферм разной этажности. Также есть необходимость возведения таких сооружений в отдаленных от города районах, в промышленных зонах.

Здание выполнено в рамках концепции зеленого строительства от назначения до эксплуатации.

В данном проекте предложены следующие критерии для рассмотрения здания с точки зрения комфорта и энергоэффективности:

Альтернативные источники энергии:

- Солнечные батареи (над зимним садом, а также на 20-ти этажной части располагаются солнечные батареи PANASONIC HIT-H250-E01);
- Солнечные коллекторы (В дополнение к солнечным батареям, на кровле предлагается установить систему вакуумных солнечных коллекторов Viessmann Vitosol 300-T для частичного покрытия потребности в горячей воде. Система коллекторов подключена к



общему баку-аккумулятору через дополнительный расширительный бак, расположенный на техническом этаже, для регулирования разности давлений и повышения ремонтпригодности и надежности);

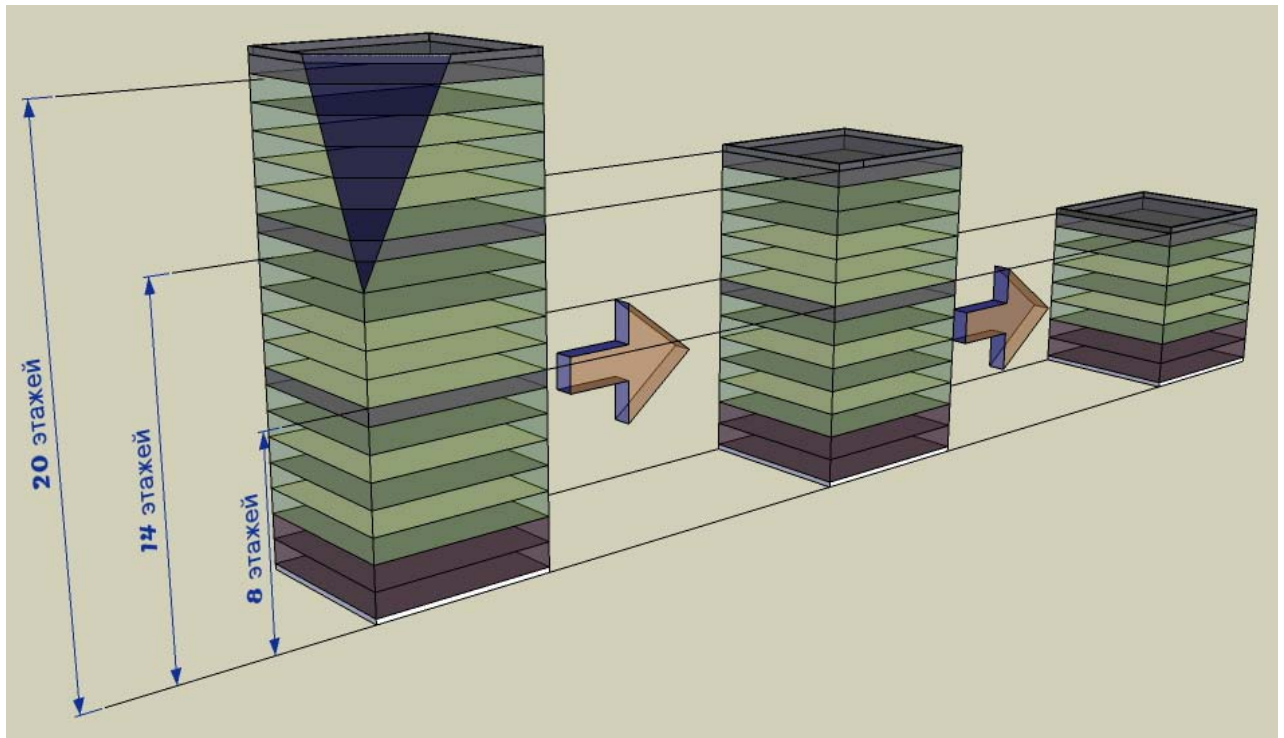


Рис. 4. Схема модулей здания

- Тепловой насос для сточных вод (Специализированный тепловой насос, установленный на техническом этаже, позволяет перехватывать стоки еще до того, как они покинули здание, и их температура не опустилась ниже 21°C, и использовать в дальнейшем на отопление и технические нужды);
- Грунтовый теплообменник воздушного типа (для предварительного подогрева воздуха в зимний период и охлаждения – в летний период предусмотрен грунтовый теплообменник типа воздух-воздух);
- Вертикальные U-образные грунтовые коллекторы.

#### **Концепция единой энергетической сети**

Здания поддерживают интеллектуальное распределение электроэнергии согласно концепции Smart Grid. Часть энергии, полученной от возобновляемых источников аккумулируется в накопительных баках для собственных нужд здания, но зачастую при благоприятных климатических условиях или при падении потребления могут возникать излишки электроэнергии, которые предлагается направлять на локальные станции электролиза. Таким образом электроэнергия сохраняется в виде водорода, который может быть использован как топливо для автомобилей, сырье для промышленности или компенсационный источник энергии. Система обратной связи помогает динамически

регулировать соотношение традиционных и альтернативных источников энергии в общем балансе.

### **Вентиляция**

В здании устроена принудительная приточно-вытяжная вентиляция с рекуператором. Отопление осуществляется за счет предварительного подогрева приточного воздуха. Система рекуперации и прочее оборудование расположены на технических этажах.

### **Лифты**

Лифты Otis GeN2 Premier. В особенности данных лифтов входит безредукторный механизм привода, регенеративная система, стальные канаты с демпфирующим покрытием, система автоматического контроля состояния канатов, ролики с пониженным коэффициентом трения и светодиодное освещение. Благодаря передовому приводу лифту не требуется машинное отделение.

### **Конструктивные решения**

В качестве типа конструктивной системы был выбран безригельный каркас. Данный тип совмещает в себе гибкость внутреннего пространства и надежность узловых решений. Каркас представляет из себя несущие монолитные ж/б колонны 400\*400 мм на которые опирается жесткий монолитный диск перекрытия толщиной 200 мм. Внутренний лестнично-лифтовой узел в производственной части здания огорожен несущими монолитными ж/б стенами 200 мм, что является ядром жесткости. Также в научно-исследовательской зоне лестничные клетки огорожены несущими монолитными стенами. Фундамент выполнен в виде монолитной железобетонной плиты, для предотвращения неравномерных осадок и уменьшения трансмиссионных теплопотерь в заглубленных помещениях. Под 20-ти этажной частью 900 мм, под 2-х этажной – 600 мм. Плиты разделяет деформационный шов – 250 мм.

Также 2-х этажная часть здания поделена на температурные отсеки, через каждые 30 м.

Кровля – плоская. На двухэтажной части здания является эксплуатируемой, на которой расположен растительный слой и тротуарная плитка. Водостоки внутренние с сеткой на воронках, для предотвращения попадания травы и мусора. Разуклонка на эксплуатируемой кровле создана с помощью гравия.

Здание железобетонное, а его производство дает практически 10% мирового выброса CO<sub>2</sub> и является крайне энергоёмким. Однако, в последнее время развитие современной строй индустрии позволяет заменять цемент в составе бетона менее вредными для окружающей среды компонента, без заметного ущерба для его качества и прочностных характеристик. Это повышает его привлекательность для возведения «зеленых зданий».

### **Мосты холода**

Теплоизоляция как строительный материал играет огромное значение в экологическом строительстве, так как она экономит больше энергии за свой жизненный цикл, чем тратится на ее производство и утилизацию. Именно поэтому этот материал заслуживает самого пристального внимания с точки зрения его применения при возведении зелёных зданий.

Узлы разработаны в рамках концепции проектирования без мостов холода.

Конструкции наружных стен с каркасом из термопрофилей с наружной обшивкой из «АКВАПАНЕЛЬ® Цементная плита наружная Knauf» – являются несущими. Внутри утеплитель, рассчитанный с точки зрения энергоэффективности ISOVER-Каркас. Оптимальный вариант для решения проблемы «мостиков холода». Возведение наружной стены с двумя стеновыми панелями: между этажами и за периметром контура на крепежных кронштейнах. Стальные термопрофили для наружных стен с прорезанными в шахматном порядке сквозными отверстиями обладают высокими теплотехническими и виброакустическими свойствами, что повышает экономичность и эксплуатационные характеристики конструкции. Термопрофиль в отличие от деревянных каркасных элементов не портится под воздействием влаги, жары, различных температурных и климатических режимов. Такая система подразумевает снижение до 50% потребления первичной энергии и сокращение до 30% выбросов CO<sub>2</sub>, благодаря тонкой конструкции и легкому весу стены. Сокращение использования природных ресурсов на стадии производства вносит значительный вклад в экоустойчивость в строительстве. Сокращение расходов на логистику и меньшие энергозатраты благодаря легкому весу системы. Сокращение расхода воды благодаря методу сухого строительства. Демонтаж/переработка в конце эксплуатационного цикла проще: отходы могут быть отсортированы в соответствии с типом материалов. Таким образом, сокращается объем отходов и увеличивается степень их вторичного использования.

### **Светопрозрачные конструкции**

Оконные конструкции и стеклопакет должны отвечать высоким требованиям по сопротивлению теплопередаче и пропусканию солнечного света для создания комфортного условия для людей и растений. Заполнение окон и витражных конструкций во всех частях зданий, – «ELECTROCHROME SAGEGLASS Saint-Gobain». Это стеклопакеты, которые под воздействием электрического тока меняют свое состояние от прозрачных до сильно затемненных (синих). Что не позволяет давать перегреваться офисным помещениям в жаркую ясную погоду, а также позволяет регулировать попадание света на растения, для предотвращения, ожогов листьев при ярком солнце.



Заполнение окон в теплицах и зимнем саду – «EGLAS Saint-Gobain» с дополнительной функцией «ELECTROCHROME SAGEGLASS Saint-Gobain». Изделия EGLAS представляют собой активную конструкцию: они служат частью отопительной системы здания, препятствуя образованию тяги и конденсата.

А также предусмотрены стеклянные перегородки между офисами и теплицами «SG PRIVA-LITE Saint-Gobain», которые имеют функцию изменения уровня светопропускания. Между двумя стеклами находится пленка со слоем жидких кристаллов. Под воздействием переменного тока напряжением 100 вольт пленка становится прозрачной, при отключенном напряжении пленка (и стекло) имеет матовый вид. Это стекло применяется для создания зон приватности, а также может использоваться в качестве временного проекционного экрана.

### **Защита от структурного шума**

Еще одним источником вибраций, кроме лифтов, являются лестничные клетки. Для уменьшения вибраций применяются закладные элементы и демпфирующие прокладки Schöck Tronsole.

### **Звукоизоляция**

1. В проекте используются перегородки с однослойной обшивкой из «АКВАПАНЕЛЬ® Цементная плита внутренняя Knauf» на одинарном стальном каркасе. «АКВАПАНЕЛЬ® Цементная плита внутренняя Knauf» - это влагостойкий материал, обеспечивающий прочную и долговечную основу для облицовки плиткой и покраской помещений с мокрым и влажным режимом эксплуатации.

Достоинства:

- высокая влагостойкость без разбухания и крошения;
- высокая устойчивость к поражению грибом и плесенью;
- высокие пожаро-технические характеристики;
- экологически чистый материал, без вредных примесей;
- легкость и быстрота монтажа.

Внутри звукоизоляционная плита ISOVER Akustic EP1.

Каркасные перегородки сами по себе обеспечивают целевые показатели индексов звукоизоляции.

Стыки выполняются с применением демпфирующих прокладок и герметика для исключения акустических мостов.

2. Полы выполнены по системе «плавающий пол», что обеспечивает звукоизоляцию. Ведь пол никаким образом не зависит ни от стен, ни от основания, за счет разделительной прослойки. А также проложены звукоизоляционные плиты ISOVER Akustic EP1 и ISOVER Akustic EP2.

Мало кто задумывается над тем, через пару десятков лет населения в селах совсем не останется. Кто же будет выращивать продукты? И что же будут есть будущие поколения?

Выход один – перенести сельское хозяйство в город. Это также решит вопрос транспортных перевозок урожая. Главная цель – с наименьшей площади собрать как можно больше плодов.

Если внедрение таких конструкций будет успешно осуществлено, это, несомненно, приведет к обновлению внешнего вида городов, росту их жизнеспособности, непрерывному циклу обеспечения их жителей проверенной и разнообразной продукцией (благодаря круглогодичному урожаю), а также возможной нормализации экосистем, пострадавших в процессе ведения земельного сельского хозяйства.



Рис. 5. Фасады запроектированного Агропромышленного комплекса

#### Библиографический список

1. Кара-Мурза С.Г. «Белая книга. Экономические реформы в России 1991—2001»: 2002 г.
2. Совещание по вопросам развития сельского хозяйства 24.09.2015 года, Ростовская область [Электронный ресурс] // URL: <http://special.kremlin.ru/events/president/news/50360>
3. Ивашенко А. «Городские фермы – будущее сельского хозяйства?»: 2009 г.
4. Департамент по экономическим и социальным вопросам России [Электронный ресурс] // URL: [http://countrysimeters.info/ru/russian\\_federation](http://countrysimeters.info/ru/russian_federation)
5. Девятов Г. «Вертикальная ферма»: 2013 г.  
«Вертикальная ферма» [Электронный ресурс] // URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Вертикальная\\_ферма](https://ru.wikipedia.org/wiki/Вертикальная_ферма)

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ  
ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ  
НИЗКОНАПОРНЫХ ВОДОТОКОВ ДЛЯ  
ИЗВЛЕЧЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ГАЗОВ ИЗ  
ВОЗДУХА**

*Миронов В.В.*

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень,  
e.a.erofeev@mail.ru

*Ерофеев Е.А.*

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

*Иванюшин Ю.А.*

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Техническими являются газы, полученные путём разделения атмосферного воздуха или выделением из углеводородного сырья. Технические газы, а именно кислород и азот, применяются во многих отраслях промышленности, в том числе, в энергетике, металлургии, медицине и др. По данным на 2013 г. мировой рынок технических газов достиг 90 млрд. USD, а в 2014 г. российский рынок достиг около 94,3 млрд. руб. [1], и продолжает расти. Это связано не столько с их применением в традиционных отраслях, сколько с появлением новых направлений их использования. Ожидается четырехкратный рост потребления кислорода, азота и инертных газов в ближайшие годы [2].

Основные способы получения технических газов – воздухоразделительные. К ним относятся криогенный, адсорбционный и мембранный способы. Криогенный способ применяется, как правило, в крупных производствах. Адсорбционный и мембранный способы имеют меньшую производительность [3].

Адсорбционная технология основана на поглощении специальными веществами [3, 4, 5] при давлениях 4-6 атмосферы, кислорода или азота из воздуха, а затем при снижении давления, отдаче накопленного газа. Главной статьей затрат при производстве технических газов адсорбционным способом являются затраты энергии на сжатие атмосферного воздуха.

Используя возобновляемые источники энергии, в частности энергию низконапорных природных и техногенных водотоков, становится возможным снижение эксплуатационных затрат, что в свою очередь приведет к снижению стоимости конечного продукта – продуцируемого технического газа.

Территория РФ обладает высоким гидроэнергетическим потенциалом малых рек. В стране имеется также значительное количество крупных производств с оборотным водоснабжением, представляющим собой техногенные низконапорные водотоки. Для снятия полезной мощности с этих объектов авторами предлагается использование гидроагрегатов-генераторов пневматической энергии, представляющих собой мембранные компрессоры, работающие в импульсном режиме, аналогично гидротаранам [6]. Подробно процесс бесступенчатого преобразования гидравлической энергии в полезную мощность с использованием гидроагрегатов и расчетные зависимости представлены в работах [7, 8, 9].

Производительность гидроагрегата по воздуху  $Q_{air}$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , определяется по зависимости:

$$Q_{air} = \frac{3600 \cdot \left[ \frac{E_k}{p_y} - \frac{\omega \cdot L \cdot p_y}{2} \left( \frac{1}{E_s} + \frac{1}{E_{cm}} \cdot \frac{D_{сн}}{\delta} \right) \right] \cdot \eta_1}{t}, \quad (1)$$

где  $E_k$  – кинетическая энергия, заключенная в напорном трубопроводе гидроагрегата, Дж;  $\omega$  – площадь поперечного сечения трубопровода гидроагрегата,  $\text{м}^2$ ;  $L$  – длина напорного

трубопровода, м;  $p_y$  – возникающее в гидроагрегате периодическое повышение давления, Па;  $E_e$  – модуль упругости воды, Па;  $E_{cm}$  – модуль упругости материала стенок трубопровода, Па;  $D_{вн}$  – внутренний диаметр трубопровода, м;  $\delta$  – толщина стенки трубопровода гидроагрегата, м;  $\eta_I$  – коэффициент, характеризующий объемные потери в камерах сжатия гидроагрегата;  $t$  – продолжительность одного цикла генерации, с.

Продолжительность цикла генерации  $t$  складывается из периода разгона воды  $t_1$  в напорном трубопроводе, необходимого для срабатывания гидроагрегата, а также времени пробега волны повышенного и пониженного давления  $t_2$  (фаза гидравлического удара). Период разгона воды в гидроагрегате определяется зависимостью [6] с введением в нее коэффициента разгона воды до скорости срабатывания ударного клапана гидроагрегата,

$$t_1 = \frac{L \cdot \mu_0}{\sqrt{2 \cdot g \cdot H}} \cdot \ln \frac{1 + k_1}{1 - k_1}, \quad (2)$$

где  $\mu_0$  – коэффициент расхода гидроагрегата, характеризующий все сопротивления по движению воды;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $H$  – созданный, перед гидроагрегатом напор, м;  $k_1$  – коэффициент разгона, характеризующий скорость срабатывания ударного клапана гидроагрегата, зависит от его конструктивных особенностей.

С учетом продолжительности цикла генерации, а также при известной производительности гидроагрегатов «по воздуху» часовой массовый расход кислорода  $m_k$ , кг/ч, на выходе после адсорбционной установки определяется по формуле:

$$m_k = \frac{Q_{air} \cdot n \cdot i}{t}, \quad (3)$$

где  $n$  – принятое количество агрегатов, располагаемых в русле водного потока, исходя из гидрологических условий и требований по подаче воздуха на адсорбционную установку, шт.;  $i$  – степень извлечения газа из воздуха (для кислорода – 0,1; азота – 0,35).

Рассмотрим гипотетический пример. За исходные данные принят водоток с расходом воды равным  $Q = 7,8$  м<sup>3</sup>/с. Количество гидроагрегатов  $n = 4$  шт, наружный диаметр стального трубопровода гидроагрегата  $D_n = 1420$  мм, толщина стенки  $\delta = 10$  мм. Для создания прямого гидравлического удара, при котором избыточное давление принимает максимальные значения, требуется, чтобы фаза гидравлического удара была больше времени закрытия ударного клапана. Для обеспечения прямого гидравлического удара длину гидроагрегата принимаем  $L = 50$  м. Количество камер сжатия 60 для одного гидроагрегата. Используя методику расчёта гидроагрегата [7] и зависимости (1-3), определим количество получаемого кислорода в функции от напора воды перед гидроагрегатами. Полученные результаты представлены на рисунке 1.

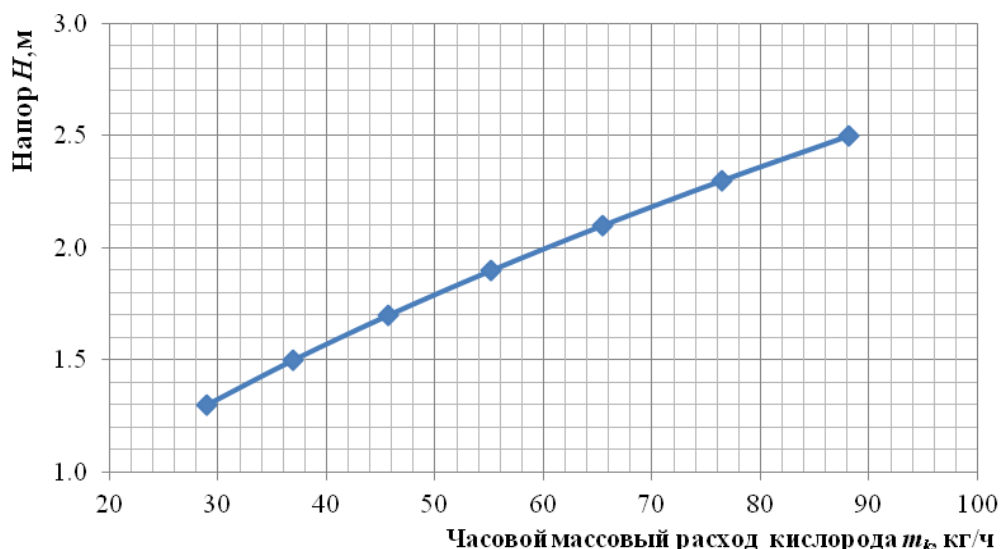


Рис. 1. Зависимость часового массового расхода кислорода при изменении уровня воды перед гидроагрегатами

Гипотетический расчет показывает, что при реализации технологии становится возможным производство достаточно большого количества технического газа. Внедрение технологии позволит значительно снизить эксплуатационные затраты при производстве технических газов (ориентировочно на 50%).

#### Библиографический список

1. Мазин А.Н., Лыкова Ю.А. Анализ рынка технических газов РФ. Технические газы, 2016. №1. С.57-64.
2. Плешков В.П. Эффективность процесса концентрации в кислородном производстве. Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент, 2012. №1. С.347-350.
3. Акулов А.К. Производство кислорода 95% и 99% из воздуха методом короткоциклового безнагревной адсорбции. Сфера. Нефть и газ, 2014. №4 (42). С.38-42.
4. Иванова Е.Н., Дудолодов А.О., Алехина М.Б., Конькова Т.В. Модифицирование монтмориллонитовой глины для адсорбционного разделения воздуха. Успехи в химии и химической технологии, 2014. Т. 28. №6 (155). С. 19-21.
5. Передерий М.А., Кулаков Ю.И., Самофалов В.С. Углеродные молекулярные сита из антрацита. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки, 2004. № S1. С. 84-92.
6. Овсепян В.М. Гидравлический таран и таранные установки. М.: Машиностроение, 1968. 124с.
7. Миронов В.В., Миронов Д.В., Иванюшин Ю.А. Использование пневматической энергии для автономного энергоснабжения зданий и сооружений. Вестник Иркутского государственного технического университета, 2016. №3 (110). С. 76-83.
8. Ерофеев Е.А., Миронов В.В. Производство технических газов с использованием энергии низконапорных водотоков. Водные ресурсы и ландшафтно-усадебная урбанизация территорий России в XXI веке: сборник докладов XVII МНПК: в 2-х томах, 2015. С. 64-67.
9. Миронов В.В., Никифоров В.Н., Миронов Д.В., Иванюшин Ю.А. Способ генерации и аккумулирования энергии. Пат. 2577433 Российская Федерация. МПК F03B 13/00. №2014126772/06; заявл. 01.07.2015; опубл. 20.03.2016. Бюл. № 8.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОВОГО  
ЛУЧИСТОГО ОТОПЛЕНИЯ ДЛЯ  
ДОСТИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ  
И НИЗКОУГЛЕРОДНОСТИ  
ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЙ**

*Мисбахов Р.М.*

Казанский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Казань

*Фатихов А.Р.*

Казанский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Казань

*Зиганшин М.Г.*

Казанский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Казань  
[mjihan@mail.ru](mailto:mjihan@mail.ru)

Известно, что более 30 % вырабатываемой в мире энергии потребляют здания. Поэтому сектор строительства наряду с энергетикой, промышленным энергетическим менеджментом и транспортом, относится, в соответствии с новыми международными обязательствами, подписанными Россией в последние годы [1, 2, 3], к числу приоритетных направлений международного сотрудничества в области повышения энергоэффективности. Вдобавок к этому, энергосберегающие технологии в строительстве могут быть отнесены и к сфере экологии, так как это идентично реальному снижению выброса парниковых газов. Согласно методологии МЭА (Международного энергетического агентства, International Energy Agency IEA) энергоэффективность любого сектора производственной и иной деятельности в городах и других населенных пунктах рассматривается как продвижение к практике их низкоуглеродного функционирования. В соответствии с Брисбенским коммюнике «Группы 20» (G20) [1], которое проводилось в русле согласования позиций основных мировых производителей энергии перед Парижским соглашением, повышение энергоэффективности нового строительства может проводиться за счет новаций в сфере дизайна, материалов, инженерных систем и автоматики контроля потребления.

Международными соглашениями предполагается интенсификация обмена передовыми концепциями и опытом в сфере энергоэффективности зданий при проектировании и в строительном производстве. В данной работе рассматривается возможность повышения энергоэффективности в сфере строительства за счет использования одного из видов децентрализованного теплоснабжения зданий – газового лучистого отопления. Данному виду обогрева помещений присущи все общие для децентрализованных систем позиции энергосбережения, основная из которых – снижение потерь при доставке теплоносителя от источника теплоснабжения. При одинаковой степени децентрализации системы лучистого отопления обеспечивают некоторую экономию энергоносителя по сравнению с конвективным отоплением вследствие того, что человек при лучистом обогреве ощущает себя комфортно при более низкой температуре,. Поэтому в помещениях с приборами лучистого отопления можно поддерживать температуру воздуха 15-16°С вместо 20-22°С в комнатах с приборами конвективного отопления. И, наконец, приборы газового лучистого отопления имеют существенное преимущество перед электрическими излучающими обогревателями с угла зрения зеленого городского строительства: коэффициент трансформации теплоты сгорания газового топлива в тепловую энергию находится в пределах 90%, а в электрическую – не достигает 50%.

Приборы газового лучистого отопления в первую очередь применяются для отопления жилых помещений, однако пригодны для отопления, например, офисов и других помещений общественных зданий. Проведен анализ технических характеристик газовых



излучателей, производимых компаниями ближней Европы, такими как "Karma" (Чехия), "Feg" (Венгрия), а также излучателей "Май", выпускаемых в России. Сравнение излучателей по коэффициенту использования топлива, мощности и газопотреблению позволило выбрать конструкции с наилучшими показателями. За основу для дальнейших исследований был взят прибор «EURO GF30.10» типа «F» ("F" – тип прибора с закрытой камерой сгорания, коаксиальным дымоходом и забором воздуха с улицы через дымоход, расположенный в стене за прибором.) завода производителя «FEG» (Венгрия).

Проведенный анализ показал также, что кроме перечисленных выше трех позиций энергоэффективности газовых приборов лучистого отопления, определенный резерв энергосбережения, связанный непосредственно с эффективностью эксплуатации, имеют даже конструкции с наилучшими показателями. Основными показателями рациональности использования топлива в газовом излучателе являются полнота сгорания газа (в модели – метана  $\text{CH}_4$ ) до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , а также полнота передачи выделенного при сгорании тепла от дымовых газов теплоотдающим поверхностям прибора, что можно оценить по температуре дымовых газов на выходе из прибора. С этой целью в нашей работе проводится численный эксперимент на основе программного комплекса Fluent ANSYS, использующего методы вычислительной гидродинамики (CFD, *Computational fluid dynamics*).

На подготовительном этапе применения комплекса была сгенерирована геометрия модели излучающего прибора и сформулированы необходимые физические условия, дискретизировалась геометрия области сгорания газозвоздушной смеси, задавались начальные и граничные условия решаемых дифференциальных уравнений движения и энергии. Для замыкания системы уравнений принята  $k - \epsilon$  модель турбулентности, а для расчетов лучистых потоков выбрана модель излучения P-1. Была построена 3D-модель излучателя и газовой горелки, находящейся внутри прибора (рис. 1 а, б).

Модель излучателя представляет собой параллелепипед с размерами  $0.8 \times 0.6 \times 0.2$  м (длина  $X \times$  высота  $Y \times$  ширина  $Z$ ), которые соответствуют габаритам излучателя «EURO GF30.10». С правого торца в прибор врезана горелка в виде огневой трубы квадратного сечения  $50 \times 50$  мм, в которой происходит сгорание топлива. По центру входного сечения горелки подведено газовое сопло диаметром 2 мм. При подаче газа происходит инжекция воздуха с избытком  $\alpha = 1.05$  и его смешивание с газом. Расчетная сетка была сгенерирована как в огневой трубе, так и в воздушной полости построенной модели.

На расчетном этапе машина выполняет по заданному алгоритму численное решение системы дифференциальных уравнений относительно базовых физических параметров движения реагирующего потока (скорость, давление, плотность и др.), и элементарных стадий химических реакций между активными центрами (температура, энтальпия и т.д.), а

также записывает результаты решения в память. На стадии анализа результаты решения отображаются в виде графиков, таблиц, а также контурных/векторных схем, привязанных к исходной геометрии.

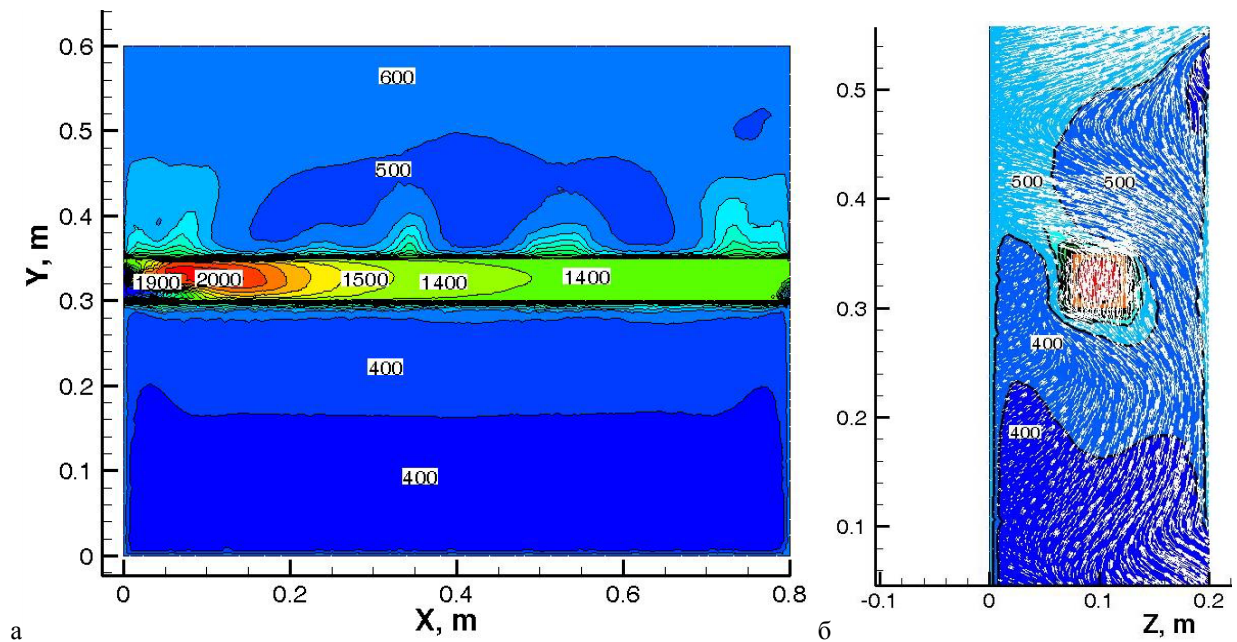


Рис. 1. Продольный (а) и поперечный (б) разрезы излучателя. Распределение температур в приборе на а, б дано в °С; на б стрелками показано направление движения воздушного потока, омывающего огневую трубу

Из результатов численных исследований, приведенных на рис. 1, а, б, следует, что наилучшие по своим характеристикам газовые излучатели имеют резерв энергосбережения за счет снижения потери тепла с уходящими газами.

#### Библиографический список

1. Коммюнике лидеров «Группы 20» по итогам саммита в Брисбене. План Действий «Группы двадцати» по повышению энергетической эффективности. Добровольное сотрудничество в сфере энергетической эффективности. 16 ноября 2014 г. [Эл. ресурс]. – URL: <http://news.kremlin.ru/media/events/files/41d51ac333c6c9b83233.pdf> (дата обращения 01.04.2016)
2. Правительство российской федерации. Распоряжение от 14 апреля 2016 г. № 670-р. [Эл. ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/22726/> (дата обращения 01.04.2016)
3. Федеральный закон от 21 июля 2012 г. N 126-ФЗ "О ратификации Протокола о присоединении Российской Федерации к Марракешскому соглашению об учреждении Всемирной торговой организации от 15 апреля 1994 г." [Текст]. – Собрание законодательства Российской Федерации, 2012, N 30, ст. 4177

## **РАЗРАБОТКА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ В ОБЛАСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ**

*Мищенко Е.С.*

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов,  
arhsit@mail.nnn.tstu.ru

*Евдокимцев О.В.*

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов,  
arhsit@mail.nnn.tstu.ru

*Монастырев П.В.*

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов,  
arhsit@mail.nnn.tstu.ru

Устойчивое развитие Российской Федерации невозможно без прорывных инноваций во всех отраслях народного хозяйства. Энергоэффективное строительство можно отнести к таким инновациям. Перед строительной индустрией России поставлена сложная задача по снижению энергопотребления и повышению энергетической эффективности отрасли, для реализации которой необходима разработка новых образовательных программ в области энергоэффективного строительства.

Анализ нормативно-правовых документов, материалов последних конференций и форумов, связанных с энергоэффективностью (I Всероссийский Форум «Энергоэффективная Россия», IX международный конгресс «Энергоэффективность. XXI век. Инженерные методы снижения энергопотребления зданий», VI съезд Национального объединения организаций в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, государственная программа «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности Тамбовской области» на 2014 - 2020 годы» и др.), позволил нам окончательно убедиться в актуальности создания образовательной программы и выявить основные направления и проблемы в области энергоэффективного строительства.

В рамках программы “Erasmus+ capacity building in higher education” [1] летом 2015г. ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» выиграл грант на тему: «Разработка магистерской программы по инновационным технологиям в сфере энергоэффективного строительства для университетов и предприятий РФ и Армении». Данный грант подразумевает совместную разработку с вузами Европы, России и Армении новой магистерской программы по направлению 08.04.01 «Строительство» в сфере инновационной, изыскательской и проектно-расчетной деятельности строительства, реконструкции и модернизации зданий.

Новая образовательная программа в Тамбовском государственном техническом университете создается на базе института архитектуры, строительства и транспорта (АрхСиТ), который ведет подготовку специалистов в области строительства 37 лет, а архитекторов 22 года. Институт "АрхСиТ" сегодня – это 1500 студентов, 140 преподавателей и сотрудников, два учебных корпуса. Институт объединяет 7 кафедр, в том числе 6 выпускающих, научно-образовательные, инновационные лаборатории, научно-исследовательские центры, малые инновационные предприятия, профильные классы, филиалы на предприятиях-партнерах. Обучение бакалавров, специалистов, магистров ведется по 14 специальностям и направлениям, а также по 11 программам дополнительного образования и повышения квалификации. Более 1000 студентов учатся по дневной форме обучения, в том числе более 140 иностранных студентов из 26 стран мира (Чад, Иордания, Китай, Армения, Афганистан, Таиланд, Пакистан, Камерун, Кот-Дивуар, Колумбия, Гвинея,

Йемен, Эквадор, Ирак, Узбекистан, Туркменистан, Конго, Камбоджа, Монголия, Замбия, Марокко, Вьетнам и др.) [2].

В рабочую группу по разработке образовательной программы вошли как опытные, так молодые преподаватели. Создание образовательной программы происходит в соответствии с разработанным планом мероприятий, схематично показанным на рис. 1.

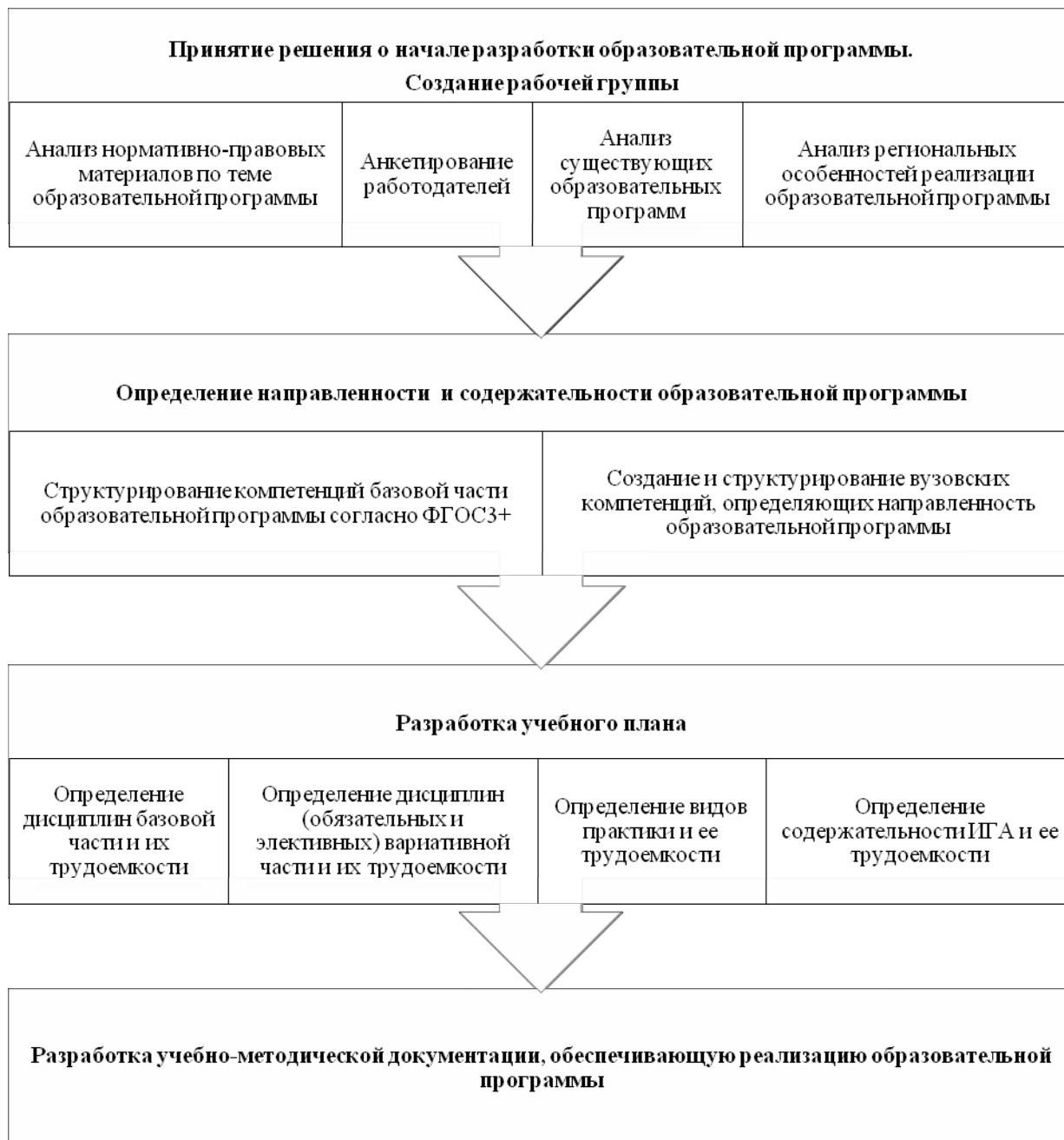


Рис. 1. Схема процесса разработки образовательной программы

На первом этапе были собраны и проанализированы различные материалы по энергосбережению и энергоэффективности. Изучены основные образовательные программы высшего образования в области энергоэффективного строительства реализующиеся на уровне магистратуры во многих вузах России (Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Санкт-Петербургский

политехнический университет Петра Великого, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина и др.). Проведено анкетирование работодателей, которое подтвердило необходимость разработки образовательной программы в области энергоэффективности (81 процент опрошенных указали на потребность в данной программе) и позволило выявить требуемые компетенции специалиста (рис. 2). В анкетировании принимало участие 17 предприятия и организации строительной индустрии Тамбовской области, основными направлениями деятельности, которых является проектирование, строительство, эксплуатация зданий и производство строительных материалов и изделий. Анкета состояла из 24 вопросов, которые затрагивали различные аспекты подготовки кадров.

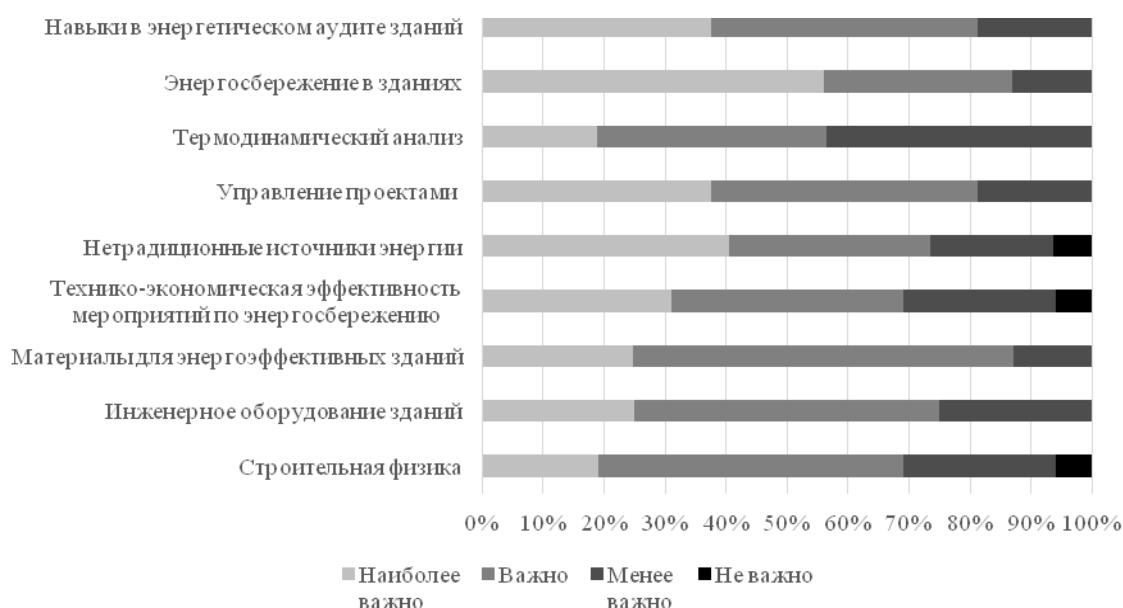


Рис. 2. Ответы работодателей на вопрос: «Какие профессиональные навыки и компетенции будут востребованы в следующие 5-10 лет?»

Проведенное исследование определило направленность образовательной программы (прикладная магистратура), ее название («Проектирование, строительство и эксплуатация энергоэффективных зданий») и содержательную часть. Общекультурные, общепрофессиональные и профессиональные компетенции, сформулированные в ФГОС [3], удовлетворяют требованиям работодателей лишь частично, поэтому были разработаны вузовские компетенции (ПВК), дополняющие ФГОС и учитывающие региональные особенности реализации образовательной программы.

Структурирование компетенций с определением трудоемкости позволило создать учебные дисциплины, учебный план и приступить к разработке учебно-методической документации, обеспечивающую реализацию образовательной программы.

**Библиографический список**

1. Education, Audiovisual and Culture Executive Agency. – 2015. – available at: [https://eacea.ec.europa.eu/erasmus-plus\\_en](https://eacea.ec.europa.eu/erasmus-plus_en) (Accessed 1 September 2015)
2. Мищенко Е.С., Монастырев П.В. Опыт международного научно-образовательного сотрудничества в области архитектуры и строительства // Интеграция образования. – 2015, № 4, Т. 19 – С. 10-15.
3. Приказ Минобрнауки России от 30 октября 2014 г. № 1419 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 08.04.01 Строительство (уровень магистратуры)»

**ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ  
ПРОБЛЕМЫ ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ В  
РЕСПУБЛИКЕ ЙЕМЕН**

*Мутанна А.М.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
hamza2008.ahmed@gmail.com

*Дубровина О.Б.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
dubrovina458@gmail.com



Йемен – древняя арабская страна в юго-западной части Аравийского полуострова. Йемен граничит на севере с Саудовской Аравией и на востоке с Оманом. С запада Йемен омывается Красным морем, с юга – Аравийским морем Индийского океана. Особое значение Йемена в истории Ближнего Востока связано с тем, что через эту страну всегда проходили важные торговые пути. Йемен контролирует выход из Красного моря и Баб-эль-Мандебский пролив, который разделяет Аравийский полуостров и Африку.

Климат умеренный в горных областях западной части страны, влажный в прибрежных областях, очень жаркий в остальной части страны. Площадь 532 000 кв.км. Население: 24 771 809 чел. (оценка 2012 г). Столица Йемена Сана (население 1 937 млн. чел.). Крупнейшие города Йемена: Аден (568 700), Ходейда (426 100), Таиз (317 600). Йемен является членом ООН, МВФ, ВОЗ, Лиги арабских стран.

Основные географические области Йемена – это горы на севере и в центре страны, равнина на побережье Красного моря (Тихама) и пустыня на востоке. В сознании наших соотечественников Йемен ассоциируется с плоской пустыней на юге Аравийского полуострова. На самом деле это не так. Рельеф Йемена разнообразен. Страна занимает восточную, самую высокую часть Западно-Аравийского нагорья. Кроме того, Йемен – наиболее влажное место на Аравийском полуострове – дважды в год муссоны приносят на склоны местных гор значительное количество осадков. Влажный сезон длится с марта по май и с июля по август.

Экономика. Йемен – аграрная страна. Здесь находятся самые плодородные земли Аравийского полуострова. Около четверти общей площади страны пригодно для ведения сельского хозяйства. Основные отрасли хозяйства – земледелие и скотоводство.

Обеспечение народного хозяйства и бытовых нужд населения. Водой является одной из острейших проблем в Республике Йемен. Только 35% населения Йемена получают воду, пригодную для питья. В городах этот показатель составляет около 74%, в сельской местности – около 14%.

Сложность решения проблемы водообеспечения в Республике Йемен обусловлена следующими причинами:

- Практически полное отсутствие поверхностных вод суши (озер, рек);
- Большая численность населения (18349000 человек в 2000 г.);
- Высокий показатель среднегодового прироста населения (4.1% в 2000-2005 гг.);
- Невысокий процент городского населения (25% в 2000 г.) и значительная доля «рассеянного населения»;

- Невысокий уровень экономического развития (внутренний валовой продукт, рассчитанный по параметру покупательной способности, в 2000 г. составлял 14400 млн. US \$);
- Небольшое количество производимой и потребляемой энергии (в 2001 г). Ежегодное производство энергии – 3010 млн. кВт·ч, а потребление энергии составляло 2800 млн. кВт·ч);
- Крайне неравномерное распределение осадков по территории республики и не увязкой их с районами максимального водопотребления.

Негативным моментом, связанным с использованием воды, является не только ее острый дефицит, но и большая опасность загрязнения отходами деятельности человека, особенно в условиях отсутствия водоочистных сооружений, а также развитой водопроводной и канализационной сети.

Преобладающим методом избавления от сточных вод является их сброс в колодцы глубиной до 20 м. Такие колодцы в итоге являются источником загрязнения подземных вод. Даже в столице страны г. Сана очистка вод все еще осуществляется во временных водоемах окисления, которые получают сточные воды в объемах, превышающих их производительную мощность. В результате загрязненные воды попадают в окружающую среду, нередко используются для орошения полей, что приводит к снижению качества и к загрязнению сельскохозяйственных продуктов.

Водохозяйственный баланс Республики Йемен, состоящий из приходной части (осадки) и расходной части (инфильтрация, испарение, климатический сток, потребление), характеризуется следующими величинами: осадки –  $51 \cdot 10^9$  м<sup>3</sup>/год, инфильтрация –  $5.1 \cdot 10^9$  м<sup>3</sup>/год, испарение –  $47.7 \cdot 10^9$  м<sup>3</sup>/год, сток –  $3.3 \cdot 10^9$  м<sup>3</sup>/год, потребление –  $3.4 \cdot 10^9$  м<sup>3</sup>/год. Отрицательный водохозяйственный баланс ( $-8.5 \cdot 10^9$  м<sup>3</sup>/год) свидетельствует о необходимости мероприятий по покрытию водного дефицита.

На рис. 1 показаны возможные пути решения проблемы водообеспечения в Республике Йемен.

Капельное орошение обладает большим преимуществом перед другими методами по экономии воды:

1) Аэрация почвы: с помощью систем капельного орошения, можно удерживать влажность почвы в оптимальных пределах, это обеспечивает интенсивное дыхание корней на протяжении всего цикла роста, не прерывающееся во время или непосредственно после орошения. Почвенный кислород позволяет активно функционировать корневой системе.



Рис. 1. Возможные пути решения проблемы водообеспечения в Республике Йемен

2) Развитие корневой системы: корневая система развивается лучше, чем при любом другом способе орошения. Основная масса корней сосредотачивается в зоне капельниц, корневая система становится более мочковатой, с обилием активных корневых волосков. Увеличивается интенсивность потребления воды и питательных веществ.

3) Питание: растворенные удобрения вносятся непосредственно в корневую зону вместе с поливом. Происходит быстрое и интенсивное поглощение питательных веществ. Это самый эффективный способ внесения удобрений в засушливых климатических условиях.

4) Защита растений: листья растений не увлажняются, как при дождевании, снижается вероятность распространения болезней, инсектициды и фунгициды не смываются с листьев.

5) Агротехнология: капельное орошение позволяет осуществлять обработку почвы, опрыскивание и сбор урожая в любое время, независимо от проведения орошения, так как участки почвы между рядами на протяжении всего сезона остаются сухими.

6) Предотвращение эрозии почвы: капельное орошение дает возможность применять полив на склонах или участках со сложной топографией, без сооружения специальных уступов или переноса почвы.

7) Значительная экономия воды:

- увлажняется только прикорневая зона растений, от 30% до 60% объема общей площади;
- снижаются потери на испарение;
- отсутствуют потери от периферийного стока воды.

На рис. 2 представлена схема системы капельного полива с компенсированными устройствами.

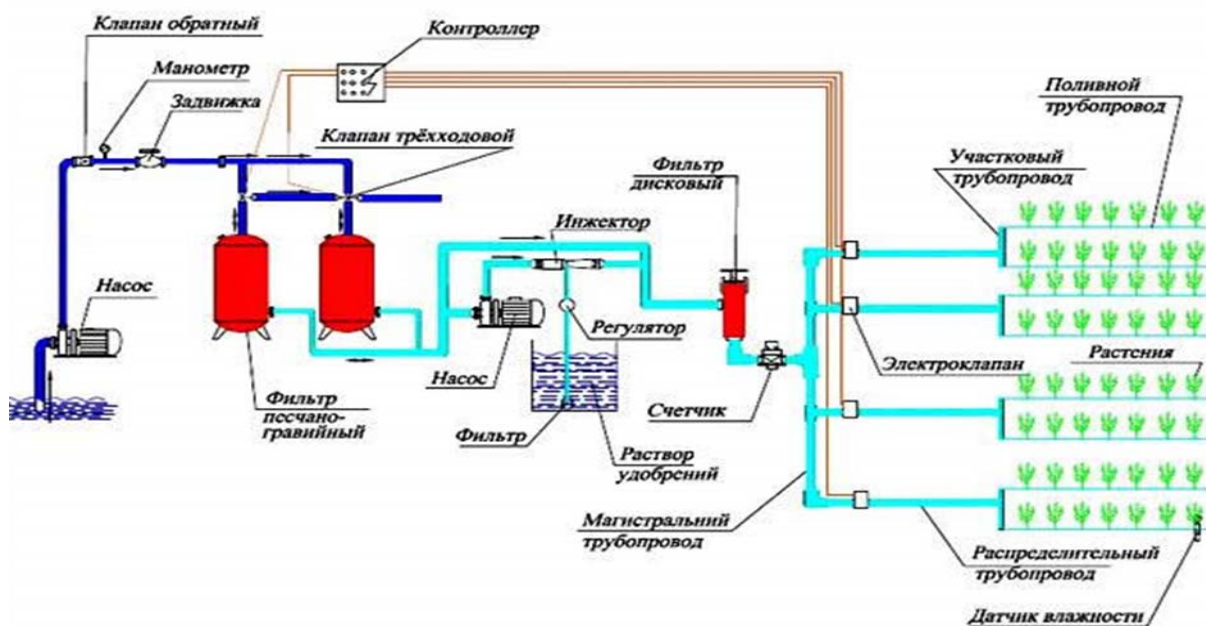


Рис. 2. Конструктивная схема системы капельного орошения плодовых культур

#### Библиографический список

1. URL: <http://www.geografia.ru/Yemen-info.html>.
2. Аль Мурейш Х. А. Обоснование комплекса экологически безопасных технологий водообеспечения в республике Йемен. Автореферат, 2007.
3. Любченко Г. А. Подземный полив [Электронный ресурс]: Оптимальные способы орошения, 2014 г. URL: <http://landscapedesign.ru/poliv/podzemnyj.html>.

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО  
ПОЖАРОТУШЕНИЯ В ЖИЛЫХ ДОМАХ  
ВЫСОТОЙ БОЛЕЕ 100 МЕТРОВ**

*Обласова О.Н.*

ООО «Противопожарная автоматика», г. Екатеринбург,  
shalox@yandex.ru

*Дубровина О.Б.*

Уральский федеральный университет, г.Екатеринбург,  
dubrovina458@gmail.com

Современный мегаполис, каким является Екатеринбург, уже немыслим без высотного строительства. Стремление застройщика к рациональному использованию земельных участков, выделенных для строительства, диктует проектировщикам простое решение: увеличение этажности и полезной площади здания при минимальной площади застройки. В первую очередь, это касается строительства жилых домов. Еще не так давно жилые дома высотой 25 этажей казались новинкой, а сегодня это обычная практика строительства.

В Екатеринбурге уже начато проектирование и строительство жилых зданий высотой более 100 м. Проектирование таких зданий сопряжено со многими сложностями, большинство из которых возникает из-за отсутствия нормативно-технической документации, в соответствии с которой должно вестись проектирование. Разработка, рассмотрение и утверждение нормативных документов ведется годами и не успевает за растущими потребностями и темпом развития строительной отрасли. Для преодоления существующего пробела в нормах проектирования, законодателем предусмотрена мера в виде специальных технических условий (далее СТУ). Необходимость их разработки и порядок согласования ведется в соответствии с Постановлением Правительства №87 [1], а в части пожарной безопасности еще и в соответствии с приказом МЧС России №141 [2].

Проблема пожарной безопасности высотных жилых зданий стоит очень остро, т.к. возможность эвакуации жителей и тушение пожара на верхних этажах при помощи пожарной техники ограничена. В связи с этим возникает необходимость проектирования систем автоматического пожаротушения в таких зданиях для локализации пожара, а также для возможности его тушения пожарными подразделениями.

Рассмотрим особенности проектирования систем автоматического пожаротушения на примере 32-этажного жилого дома высотой 103 м, строящегося по ул. Белинского-пер.Отдельный в г.Екатеринбурге. Для проектирования данного объекта ООО «Регион» разработало СТУ[3], в которых были предусмотрены дополнительные мероприятия для обеспечения пожарной безопасности, а именно:

- выполнить в здании две системы внутреннего противопожарного водопровода: ВПВ1 на всех этажах, совмещенную с хозяйственно-питьевым водопроводом, с увеличенным расходом 4 струи по 2.5 л/с и ВПВ2 – водопровод высокого давления на 18–32 этаже с увеличенным расходом 3 струи по 5 л/с;
- систему ВПВ2 оснастить пожарными кранами диаметром 65мм, пожарные шкафы разместить в холлах лифтов для пожарных подразделений, краны укомплектовать пожарными рукавами 2х20 м и ручными перекрывными пожарными стволами с возможностью изменения угла распыла;

- на верхнем техническом этаже предусмотреть установку жокей-насоса для поддержания напора в системе ВПВ2;
- в здании предусмотреть защиту спринклерной системой автоматического водяного пожаротушения общих коридоров жилой части здания на всех этажах.

Цель предусмотренных противопожарных мероприятий:

- не допустить в системе хозяйственно-питьевого водопровода давления более 0.9 МПа при помощи выделения в отдельную систему противопожарного водопровода 18-32 этажа;
- обеспечить быстрый доступ пожарных подразделений к пожарным кранам с увеличенным расходом воды;
- дать возможность пожарным тушить очаг в самом удаленном помещении при помощи удлиненного рукава и крана с изменяющимся углом распыла;
- обезопасить пути эвакуации жителей по общим коридорам и локализовать там очаг пожара при помощи спринклерной системы автоматического пожаротушения;
- облегчить поддержание высокого давления в системе при помощи установки жокей-насоса на верхнем техническом этаже, а не в насосной станции в подвале.

На основании СТУ был разработан проект установки автоматического пожаротушения жилого здания, включающий в себя спринклерную водяную систему автоматического пожаротушения для защиты общих коридоров и систему внутреннего противопожарного водопровода высокого давления ВПВ2.

Для работы системы были подобраны 2 рабочих насоса параллельного включения и 1 резервный: 1 насос включается в работу в случае пожара на 1-17 этаже, 2 насоса – в случае пожара на 18-32 этаже. Выбор двух рабочих насосов вместо одного позволяет обеспечить работу системы с наиболее точной рабочей точкой по необходимому напору и расходу.

Спринклерная система разделена на 2 секции: секция №1 – 1–17этаж, секция №2 – 18–32 этаж. Для более быстрого срабатывания узла управления секции №2 он был установлен на верхнем техническом этаже, также как и насос-жокей, что дало возможность подобрать насос-жокей на меньшие параметры по напору и мощности, нежели при его установке в подвале здания (экономические показатели реализации проекта – немаловажная деталь при проектировании и выборе оборудования).

Система автоматического пожаротушения оснащена патрубками для подключения пожарных машин, также дополнительно патрубки установлены отдельно для системы ВПВ2.

Для обеспечения работы спринклерной системы 1-17 этажа с необходимым напором и расходом в пределах рабочей точки насосов на питающий трубопровод до узла управления



встроен редукционный клапан, который снижает избыточное пьезометрическое давление «после себя».

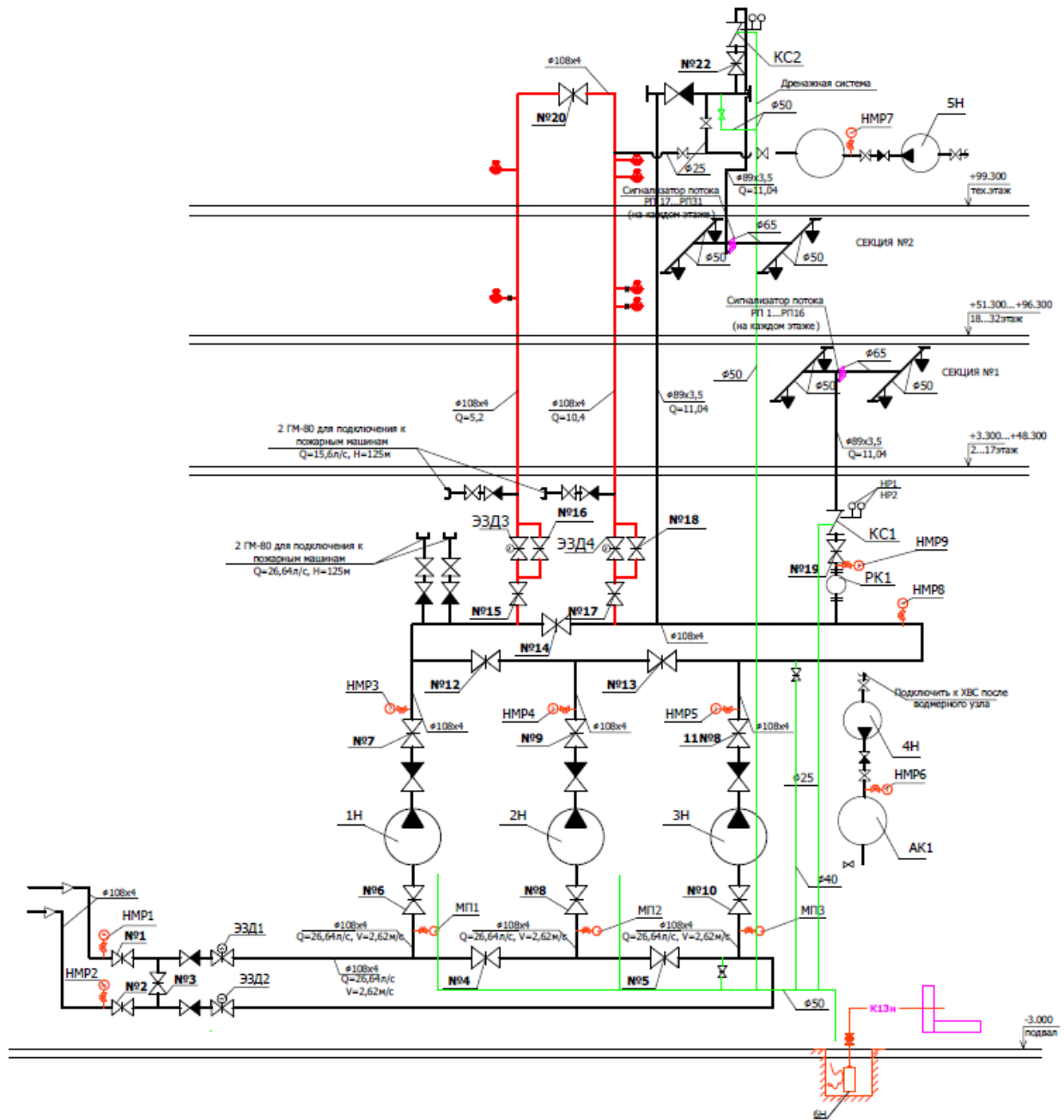


Рис. 1. Принципиальная схема установки автоматического пожаротушения 32-этажного жилого дома

Система автоматического пожаротушения оснащена дренажной системой для слива воды как из всей системы пожаротушения, так и из отдельных ее участков в случае их ремонта или замены.

Удаление воды после пожара осуществляется в канализационный стояк, проложенный в шахте вместе с трубопроводами системы пожаротушения. Система удаления воды после пожара выполнена в разделе ВК данного проекта.



Ниже приведена принципиальная схема установки автоматического пожаротушения 32-этажного жилого дома с верхним техническим этажом, выполненная в рамках разработки рабочей документации.

В заключение хочется сказать, что разработка систем автоматического пожаротушения для высотных жилых домов согласно СТУ – это решение проблемы, но необходимо разрабатывать общероссийские нормы и правила проектирования.

#### **Библиографический список**

1. Постановление Правительства РФ от 16 февраля 2008г. № 87. О составе разделов проектной документации и требования к их содержанию.
2. Приказ МЧС РФ от 16 марта 2007 г. № 141. Об утверждении Инструкции о порядке согласования отступлений от требований пожарной безопасности, а также не установленных нормативными документами дополнительных требований пожарной безопасности.
3. ООО «Регион». Специальные технические условия на проектирование и строительство, в части обеспечения пожарной безопасности объекта: «Жилые дома повышенной этажности с торгово-офисными помещениями и подземным гаражом по ул.Белинского - пер. Артельный в Октябрьском районе г.Екатеринбурга.

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА КОНТРОЛЯ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА  
ПОСРЕДСТВАМ ВНЕДРЕНИЯ  
СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ В УРОВНЕ  
ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ**

*Пастухова М.В.*

Уральский государственный архитектурно-художественный университет,  
г. Екатеринбург

ООО «Архитектурное Бюро «ОСА», г. Екатеринбург;  
mony.past92@gmail.com.

CAD/САПР – Computer-Aided Design (системы автоматизированного проектирования) – автоматизированная система, реализующая информационную технологию выполнения функций проектирования [2], представляет собой организационно-техническую систему, предназначенную для автоматизации процесса проектирования, состоящую из персонала и комплекса технических, программных и других средств автоматизации его деятельности.

GIS/ГИС – Geographic Information System (геоинформационные системы) – система сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных (географических) данных и связанной с ними информации о необходимых объектах [3].

BIM – Building Information Modeling (информационное моделирование зданий) – процесс информационного моделирования объекта (здания или иного) на основе единой базы данных, главным продуктом которого является «проект», а второстепенным чертежи и архитектурная визуализация [2].

CIM – City Information Modeling (информационное моделирование города) – процесс информационного моделирования города на основе единой базы данных [1].

Определение BIM-технологии (Building Information Modeling или Building Information Model) в последнее время стало уже привычным понятием, и все чаще эти технологии используются проектировщиками и застройщиками при проектировании и строительстве зданий. Информационная модель здания поддерживает распределённые группы, поэтому люди, инструменты и задачи могут эффективно и совместно использовать эту информацию на протяжении всего жизненного цикла здания. Это исключает избыточность, повторный ввод и потерю данных, ошибки при их передаче и преобразовании [2].

Применение BIM-технологий наиболее актуально при разработке уникальных зданий. При проектировании уникальных зданий, будь то высотное здание или большепролетное, наиболее важна точность информации, т.к. количество типовых решений сведено к минимуму. В связи с этим информационная модель здания должна не только служить инструментом для проектирования, но так же и инструментом контроля и последующего мониторинга строительства и эксплуатации.

Наряду с современными технологиями информационного моделирования зданий активно развивается и другое направление - информационное моделирование городов, так называемые CIM-технологии [1].

Так же как CAD-системы предшествовали развитию BIM-технологиям, базой для развития CIM-технологий являются ГИС-системы.

В городской среде невозможно ограничиваться проектированием в плоскости XY. Проектирование городов всегда было пространственным процессом. И так как город представляет собой совокупность пространств и связей, как надземных так и подземных,

особенно важно вывести территориальное планирование на уровень пространственного моделирования. СІМ-технологии позволяют осуществлять мониторинг, контроль и прогнозирование всех элементов городской структуры. При внедрении пространственного моделирования для проектирования и мониторинга может появиться возможность установления пространственных регламентов, который будет охватывать не только плоскость земельных участков, но и надземное и подземное пространство. Таким образом, могут быть назначены некие «облачные» зоны, в пределах которых может вестись проектирование и строительство. Пространственное проектирование городской среды, в рамках генеральных планов развития городов, откроет новые возможности для архитекторов и структур управления, а так же решит многие проблемы координации процессов, мониторинга и прогнозирования.

При эффективном внедрении СІМ-технологий в городские структуры территориального планирования и развития появится возможность упрощения для застройщика процедуры сбора исходных данных и согласования проектной документации зданий, а так же возможность повышения безопасности строительства и эксплуатации посредством частичной автоматизации контроля проектной документации.

Имеет место быть следующий алгоритм работы СІМ-технологий в управлении городского пространственного планирования:

Формируется точная пространственно-информационная модель города, которая представляет собой базу данных, с возможностью пространственной визуализации.

В базе данных содержится информация о всех физических элементах городской структуры, как надземных, так и подземных, об их размещении, параметрах и т.д., так же информация о всех ограничениях, которые посредством задания алгоритма формируют "облако пространственных ограничений". Выявляются пространственные зоны, регламентирующие возможность строительства определенных объектов и их элементов во всех возможных точках подземного и надземного пространств.

Регламентирующим документом для получения разрешения на строительство будет являться аналог ГПЗУ (градостроительный план земельного участка), назовем его «ІМЗУ» (информационная модель земельного участка). «ІМЗУ» представляет собой пространственно-информационную модель, содержащую в себе все исходные данные, необходимые для проектирования, включая планировочные и пространственные ограничения, градостроительные регламенты, требования эксплуатирующих организаций с возможностью их визуализации на пространственной модели.

Таким образом, облегчается и сокращается процесс сбора исходных данных для проектирования. При условии, что пространственно-информационная модель города полна и актуальна.

По завершении проектирования, для согласования вместе с проектной документацией в надзорный орган передается пространственно-информационная модель здания (BIM), которая внедряется в пространственно-информационную модель города (CIM) и анализируется на предмет соответствия градостроительным регламентам и нормативам, проверяются точки подключения инженерных сетей, нагрузки на городские сети, соответствующие принятым проектным решениям в BIM модели. Таким образом, CIM-технологии позволяют не только сформировать полную пространственно-информационную модель города, но и интегрировать BIM-технологии в уровень городских структур управления территориальным планированием. Это позволит существенно повысить качество и сократить время проверки проектной документации, а так же повысить уровень безопасности при строительстве и эксплуатации уникальных зданий и сооружений, т.к. вероятность ошибки существенно понизится.

Так же использование CIM-технологий в управлении территориальным планированием существенно сокращает время предпроектных изысканий, сбора исходных данных и согласования документации. Это позволяет повысить инвестиционную привлекательность города, а так же сократить затраты и улучшить контроль проектирования, строительства и эксплуатации.

#### **Библиографический список**

1. Джордж Грил. Научно-исследовательская работа «City Information Modeling (CIM)», Jorge Gil, Department of Urbanism, TU Delft, 17th of March 2015 [https://www.bartlett.ucl.ac.uk/space-syntax/publications/documents/JorgeGil\\_CIM\\_presentation.pdf](https://www.bartlett.ucl.ac.uk/space-syntax/publications/documents/JorgeGil_CIM_presentation.pdf);
2. «Сделайте свой бизнес успешнее с BIM-технологиями». Статья о BIM-технологиях, сайт компании Autodesk <http://www.autodesk.ru/campaigns/aec-building-design-bds-new-seats/landing-page>;
3. «Концепция ГИС». Статья о ГИС-системах, сайт компании Esri-gis [http://esri-cis.ru/concept\\_arkgisa/press/whatgis.php](http://esri-cis.ru/concept_arkgisa/press/whatgis.php).

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПОЛНЯЕМОСТИ  
БЕСПЛАТНОЙ ПАРКОВКИ В  
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ГОРОДА НА  
ПРИМЕРЕ АВТОСТОЯНКИ НА ПЛОЩАДИ  
1905 ГОДА В ГОРОДЕ ЕКАТЕРИНБУРГЕ**

*Пенцев Е.А.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
e.a.pentsev@urfu.ru

С ростом уровня автомобилизации в начале 2000-х годов города (особенно крупнейшие) стали испытывать на себе транспортные проблемы: заторы и как следствие – увеличение затрат времени на передвижения, недостаточное количество мест для парковки, особенно на жилых территориях и в центральной части городов. Постепенно городские власти начинают осознавать, что с этими проблемами необходимо бороться и одним из первых методов, применяемых чиновниками, становится введение платных парковок в центрах городов. Екатеринбург не стал исключением в данном вопросе и на протяжении последних 2 лет в городе появились платные стоянки, но еще не на всей территории центра и одним из таких островков бесплатной парковки является стоянка на Площади 1905 года.

Площадь 1905 года – центральная площадь полуторамиллионного города. Представляет собой ограниченную застройкой территорию, занятой магистральными улицами общегородского значения (проспект Ленина и улица 8 Марта), а так же автостоянкой вместимостью 250 машино-мест (рис. 1).



Рис. 1. Автостоянка на площади 1905 года

В пределах пешеходной доступности располагаются следующие объекты: администрация города Екатеринбурга, торговые центры "Пассаж", "Успенский", "Европа", здание банка "ВТБ24", гимназия № 19, филармония, комплекс зданий ГУВД Свердловской области и Управления ФСБ по Свердловской области, жилые дома, административно-офисные комплексы на улицах Ленина, 8 Марта, Вайнера и других прилегающих улицах, пешеходная зона на улице Вайнера.

На период проведения натурных обследований платные парковки были устроены на следующих улицах: 8 Марта, Попова, Хохрякова, т.е. парковка на Площади 1905 года



(включая парковочные места на улице Урицкого и Володарского) совместно с парковкой в переулке Банковский остались единственными бесплатными парковками в данном районе.

Натурные обследования проводились в будний день в период с 7:00 до 21:00. На момент начала обследований на парковке находилось 7 автомобилей, скорее всего – жителей или гостей близлежащих домов. На момент окончания обследований на парковке находилось 50 машин – это автомобили посетителей близлежащих торговых центров и тех, кто находился в центре города по иным целям (погода в этот день благоприятствовала прогулкам по центру города). За период обследования на парковку въехало 3070 автомобилей, выехало 2963 автомобилей. Обследования проводились методом фиксации по постам (места въезда/выезда на стоянку – всего 4) наблюдателями регистрационных номеров автомобилей без применения средств фото- видеофиксации. В ходе последующей обработки результатов выяснилось, что у 270 автомобилей (примерно 9%) номера не совпали по въезду/выезду (объясняется загрязненными номерами, возможной неправильной записью номеров наблюдателями или тем, что физически не успели записать номера в период интенсивного насыщения автомобилями стоянки), поэтому эти автомобили из дальнейшей обработки были исключены.

Результаты исследования были определены в диаграмму «Распределения время стоянки в течение периода обследования» (рис. 2). Обращаясь к данной диаграмме можно сделать вывод: больше половины всех машин, посещающих автостоянку на Площади 1905 года, задерживаются не более чем на 15 минут, а четверть всех машин находятся на парковке до 60 минут. Интересен тот факт, что автомобили, находящиеся на стоянке свыше 8 часов (150 автомобилей), т.е. на протяжении всего рабочего дня, составляет 5%. Учитывая, что вместительность исследуемой автостоянки 250 машино-мест, то 150 занятых мест – это 60% всей автостоянки.

Анализируя данные по въезду/выезду (рис. 3), приходим к выводу, что пик въезда автомобилей на автостоянку прослеживается с 8:00-9:00 (обусловлено началом рабочего дня). После 9:00 – относительно равномерное движение в течение дня с небольшим увеличением в 13:00-14:00 (наступает время обеденных перерывов) и около 18:00, когда приезжают за работниками или в торгово-развлекательные центры. Пик выездов с автостоянки приходится на 18:00-19:00 (конец рабочего дня и посещения магазинов после работы), кроме того большое количество машин покидает автостоянку около 21:00. В среднем, в час на стоянку въезжает 195 машин.



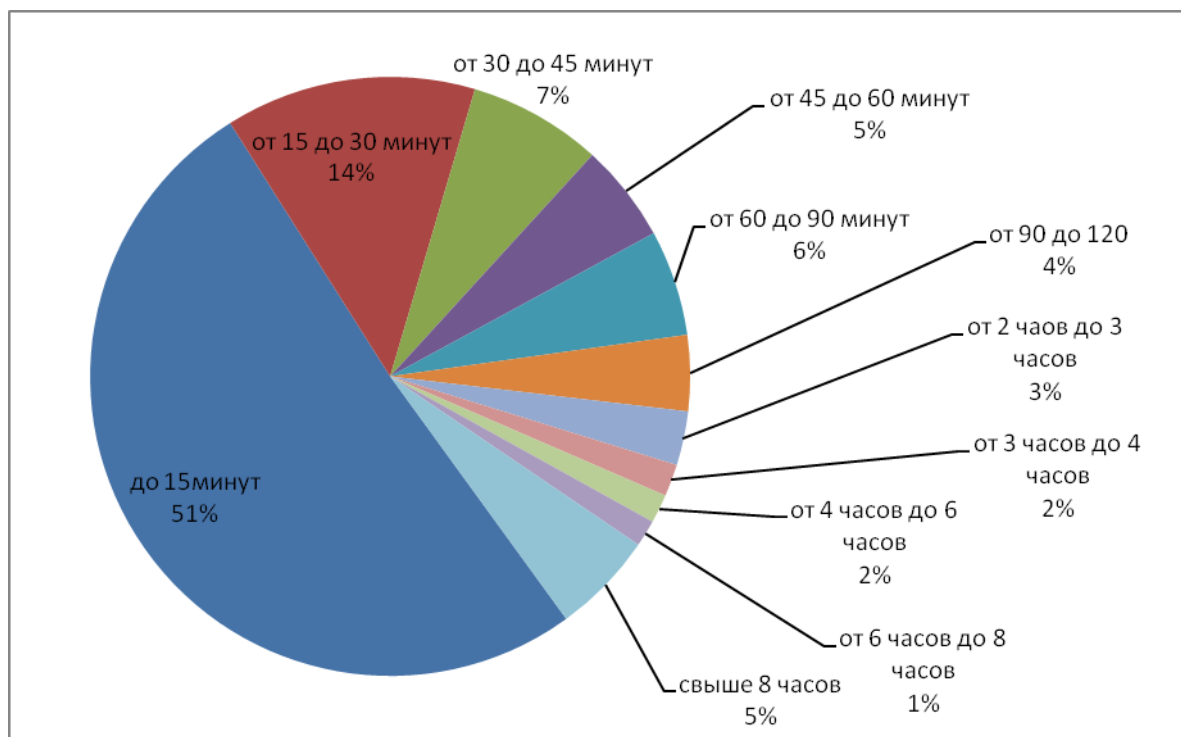


Рис. 2. Распределения времени стоянки в течение периода обследования

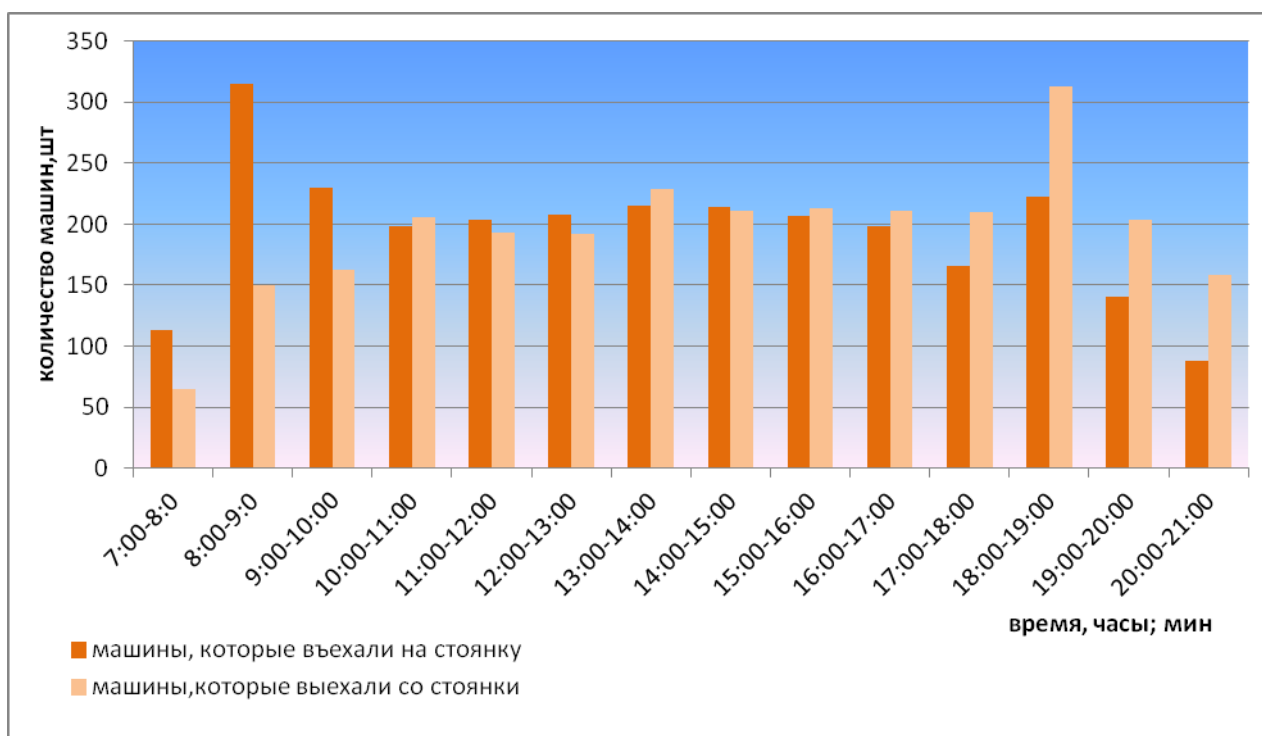


Рис. 3. Гистограмма въезда/выезда

Гистограмма «Среднее время стоянки по интервалам» (рис. 4) показывает, что машины, заехавшие в период с 7:00-9:00, были оставлены в среднем на 6-7 часов, подобная активность прослеживается в районе 12:00 (причиной этого может являться график трудового дня в торговых центрах – две смены работы). В период после 9:00 автомобили оставляют в среднем на 1.5 часа и менее, что еще раз подтверждает тот факт, что бесплатная

парковка используется в основном для того, чтобы оставить машину возле места работы, т.е. теми лицами, которые добираются на работу на автомобиле.

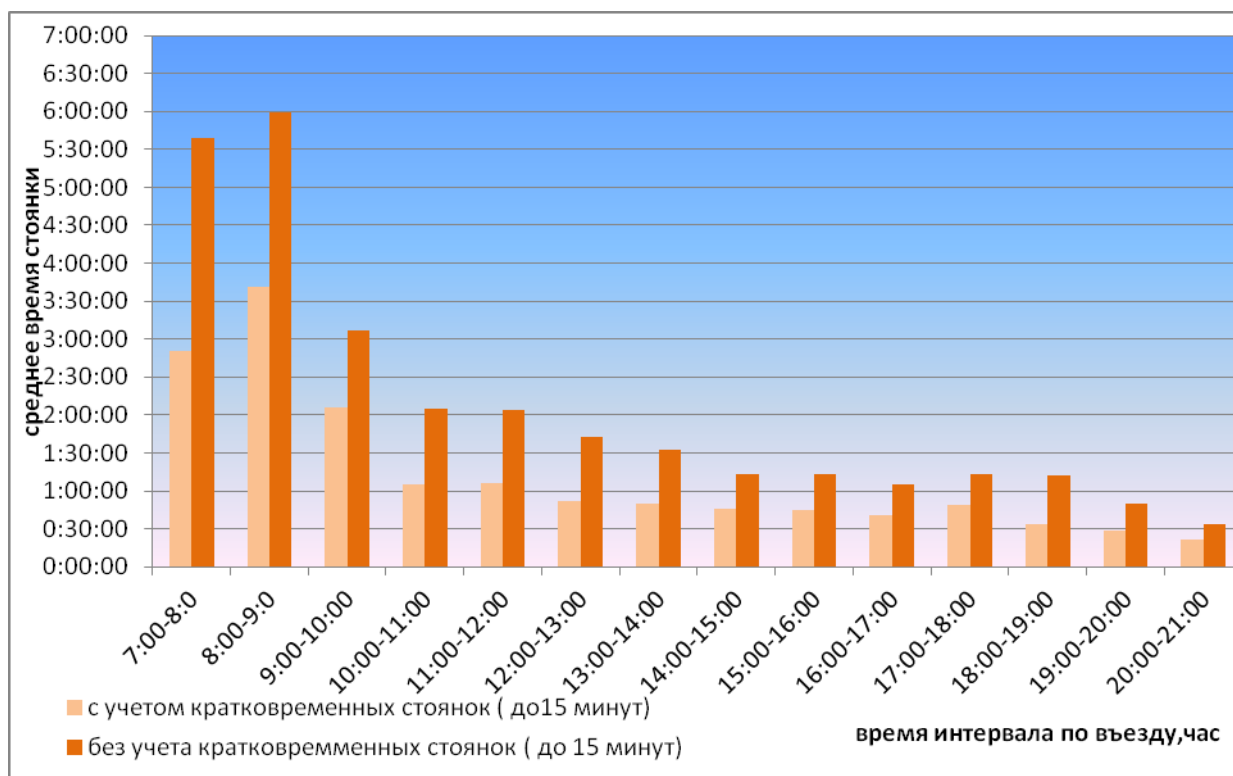


Рис. 4. Среднее время стоянки по интервалам (до 15 минут)

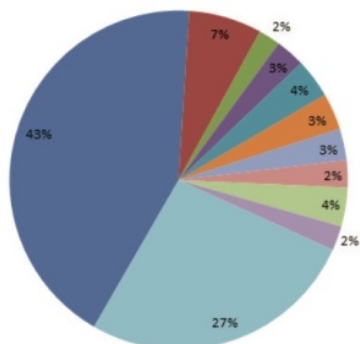
Анализируя диаграмму «Время стоянки автомобилей, заехавших в разные периоды» (рис. 5) можно сделать следующие выводы:

- в период до 9:00 четко прослеживается, что парковка занимается автомобилями, которые остаются на весь день;
- половина тех автомобилей, что заехали на стоянку до 9:00, на самом деле не паркуются, а просто привозят пассажиров – работающих в ближайших организациях и учреждениях;
- в течение всего дня наблюдается, что около 50% всех въехавших автомобилей, задерживаются на стоянке менее чем на 15 минут, т.е. снова речь идет о том, что водители провозят или приезжают за пассажирами, либо не смогли найти место парковки и уехали.

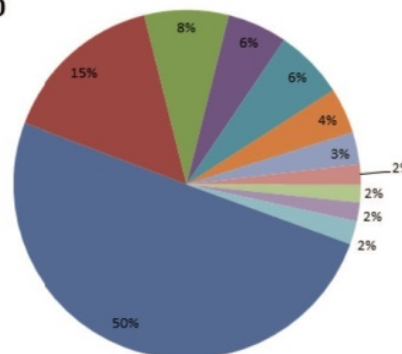
Гистограмма «Наполняемость автостоянки» (см. рис 6) показывает, что полное наполнение автостоянки происходит до 9:00. Превышение количества припаркованных машин в среднем и вместимостью стоянки объясняется тем, что автолюбители при заполненной стоянке занимают места, не предназначенные для парковки (проезды внутри стоянки), т.е. искусственно вместимость стоянки повышается до 300 машино-мест. Причина

этого заполнения в том, что 250 машино-мест заняты на целый день теми, кто приехал на работу на автомобиле.

а) 7:00 - 9:00



б) 9:00 - 17:00



в) 17:00 - 21:00

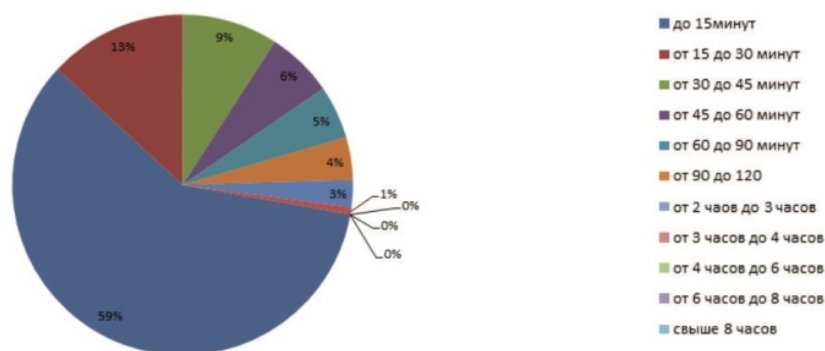


Рис. 5. Время стоянки автомобилей, заехавших в различные периоды

Спад количества припаркованных на стоянке автомобилей начинается с 17:30, что подтверждает вывод об использовании стоянки теми, кто приезжает на работу на автомобиле.

В целом, по всему обследованию наполненности стоянки, можно сказать следующие:

- Необходимо разрабатывать и реализовывать мероприятия, позволяющие пересадить клерков с автомобилей на общественный транспорт. При этом, эти мероприятия должны иметь комплексный характер (улучшение организации движения общественного транспорта, его подвижного состава, организация перехватывающих парковок и т.д.), а не только введение платных автостоянок.
- Учитывая, что Площадь 1905 года с 2017 года перестает действовать как стоянка, (её новое назначение определится как общественный пространство) необходимо предусмотреть место для возможности временной парковки на платной основе на ближайших улицах в пределах пешеходной доступности (примерно 100-150 машино-мест).

- На прилегающих улицах к Площади 1905 года было зафиксировано еще около 300 припаркованных автомобилей. Предполагается то факт, что характер заполнения этих парковочных мест аналогичен ситуации на стоянке 1905 года, то введением платной стоянке на этих прилегающих улицах можно добиться снижения количества припаркованных автомобилей и возможности парковки здесь тех машин с Площадь1905 года, которые будут парковаться на срок до 1.5 часа.

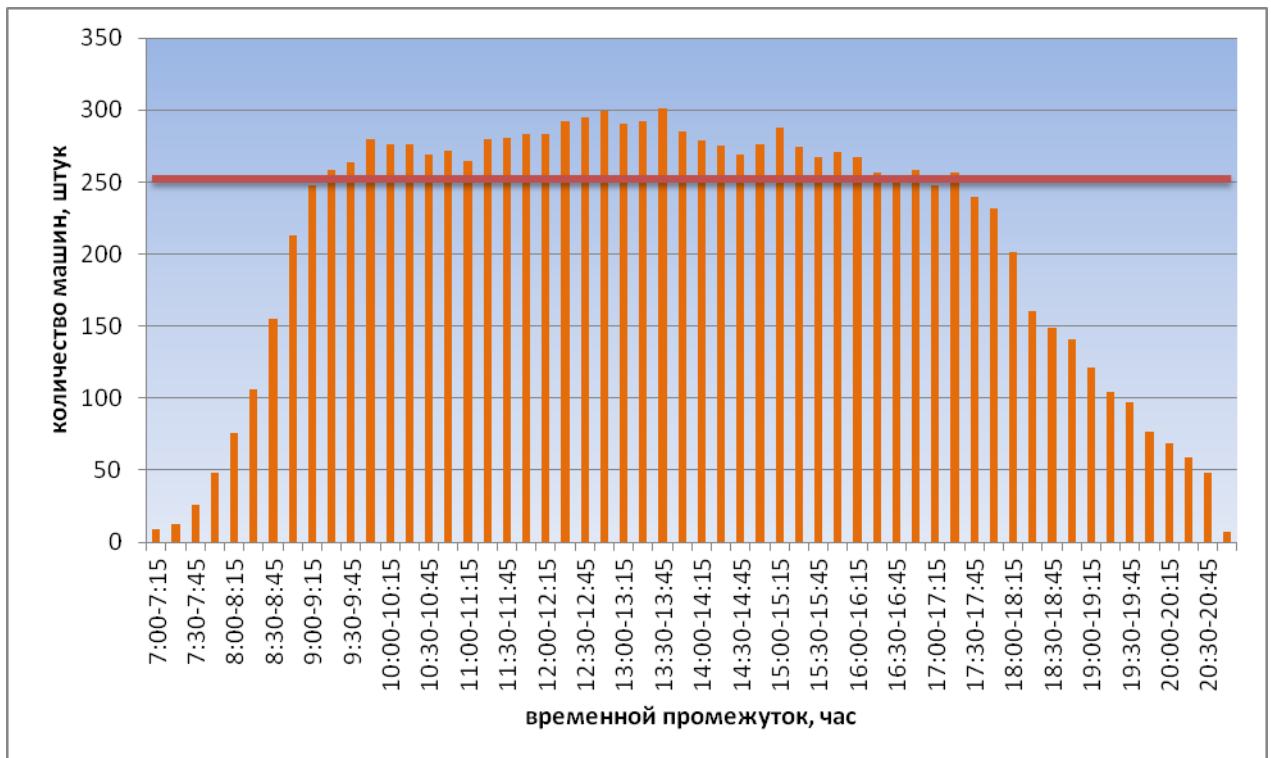


Рис. 6. Наполняемость автостоянки

**II Международная конференция  
«Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур»**

**УПРАВЛЕНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ  
ТЕРРИТОРИЙ ПОСЛЕ ПРИРОДНО-  
ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЙ И КАТАСТРОФ  
НА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ  
ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОБЪЕКТАХ**

*Платонов А.М.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

*Ларионова В.А.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

**26-27 июня 2016 года,  
Екатеринбург, Россия**

Современное общество является наглядной иллюстрацией общества риска.

Это имеет прямое отношение ко всему спектру природных и природно-техногенных аварий и катастроф, обусловленных нарастающей интенсивностью общемировых процессов. Причины их возникновения не лежат на поверхности, а часто являются сложным сплетением процессов различной природы – природно-физических, технико-технологических и радиационно-химических, экономико-правовых, ценностно-нравственных и политико-идеологических.

В совокупности данные процессы образуют некую институциональную реально-виртуальную и пространственно-временную матрицу во внекоординатном (виртуальном) и реально-координатном континуумах.

Виртуально-временной (внекоординатный) континуум обозначенной выше матрицы включает в себя конструируемые обществом геополитические и экономико-правовые реальности и разнополярные ценностно-ориентированные сферы и системы идей.

В описываемой матрице имеют место также составляющие пространственно-временного (реально-координатного) континуума, а именно, существующая как благо и как угроза природно-физическая реальность, созданная человеком за тысячелетия ноосфера со своими созидательными и разрушительными потенциалами и, наконец, этносы (нации) с их элитами, наполняющие диалектикой «созидания-разрушения» пространство, территории, время и деятельность человека.

Совокупное влияние данных составляющих является тем определяющим фактором, который обеспечивает процессы создания и модернизации, разрушения и восстановления инфраструктуры территорий, комфортной и безопасной среды деятельности и обитания человека в городах, регионах и промышленных зонах.

В этом аспекте проблема восстановления инфраструктуры территорий городов, регионов и промышленных комплексов (мостов, плотин, тоннелей, очистных сооружений, газо- и нефтепроводов, атомных станций и т.п.) после природно-техногенных аварий и катастроф приобретает сегодня все более и более актуальное значение.

Особое внимание в исследовании уделено процессам прогнозирования, на стадии разработки проектов, чрезвычайных ситуаций (ЧС), оценки их ущербов и мер, необходимых для восстановления городских поселений, территорий регионов и разрушенных промышленных площадок.

Деятельность по ликвидации последствий ЧС, как правило, охватывает преимущественно их кульминационную разрушительную фазу и в значительно меньшей степени – восстановительную. Совершенно не прогнозируются, не прорабатываются и не оцениваются при этом ситуации по эффективному производству восстановительных

проектно-строительно-монтажных работ, необходимых для восстановления разрушенной инфраструктуры. Поэтому наиболее важным, а также трудоемким и инвестиционно-монтажным этапом ликвидации последствий ЧС безусловно являются проектно-строительные и восстановительно-монтажные работы в рамках портфеля заранее разработанных еще на стадии проектирования инфраструктурно-критичных инвестиционно-строительных проектов (ИК ИСП), осуществляемых на разных территориях в экстремальных условиях.

ИК ИСП из-за наличия экстремальных условий их реализации обладают нестандартной структурой жизненного цикла, которая характеризуется, особенно на первоначальном этапе, лавинообразным и трудно оцениваемым нарастанием в «сжатые» сроки трудоемкости проектно-строительно-монтажных работ и потребности во всех видах ресурсов, а также значительным уровнем неопределенности и усложнением организации деятельности. Вследствие этого возникает необходимость как горизонтального, так и вертикального максимально возможного совмещения восстановительных работ. При этом задачи команд проектов и особенно их руководителей по восстановлению городских поселений, территорий регионов и промплощадок по всем аспектам их деятельности (время, ресурсы, финансы, кадры, условия взаимодействия участников проектов и т.п.) значительно усложняются.

Для разработки ИК ИСП и их реализации в экстремальных условиях предложена система прогнозных риск-карт четырех уровней от возникновения возможных ЧС до прогнозирования и последующей оценки ущерба и соответствующих проектно-строительно-восстановительных мер.

Формирование системы прогнозных риск-карт возможно при соблюдении ряда условий, а именно: обеспечение сохранности (на различных носителях) проектно-сметной документации, рабочих чертежей и сетевых моделей, графиков производства работ и исполнительной документации по ранее осуществленным процессам реализации инфраструктурно-традиционных проектов развития городских поселений и территорий регионов, а также по строительству и реконструкции, модернизации и капитальным ремонтom зданий и сооружений критически важных, опасных и особо опасных производств на территориях.

С учетом данного подхода успешная реализация ИК ИСП предполагает выполнение ряда следующих обязательных мер: экстренную остановку функционирования инфраструктуры; предварительную и уточненную в последующем оценку объема восстановительных работ; проведение восстановительных работ на основе организационно-ресурсной совокупности реализуемых на разных стадиях традиционных и инфраструктурно-критичных ИСП, реализуемых в экстремальных условиях.

Система управления данной совокупностью проектов призвана связать цели восстановления инфраструктуры различных территорий, городов и промплощадок после ЧС с управленческими и оценочными технологиями для достижения необходимых результатов.

Для успешного решения проблемы восстановления инфраструктуры городских поселений, территорий регионов и промзон после возникновения ЧС потребуется внесение серьезных организационно-технических и финансово-экономических изменений в ряд разделов проектно-сметной документации по созданию их инфраструктуры, а именно: в сведения об инженерном оборудовании, в проекты организации строительства и организации работ, в перечни мероприятий по охране окружающей среды и пожарной безопасности и др.

Реализация концепции управления портфелями ИК ИСП восстановления инфраструктуры городских поселений, территорий регионов и промплощадок после произошедших серьезных природно-техногенных аварий и катастроф, позволит решить важную задачу по их скорейшему включению в экономику страны, регионов и городских агломераций и налаживанию прерванных взаимоотношений с бизнес-партнерами, потребителями и поставщиками.



**ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ  
ПРИМЕНЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ  
ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ  
ПОЛЫХ ТРУБЧАТЫХ СВЕТОВОДОВ**

*Плешков С.Ю.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

В период мирового финансово-экономического кризиса проблемы энергосбережения и энергоэффективности в строительстве приобретают особую актуальность, потому что они не только влияют на сохранение окружающей нас среды. Конструктивное решение этих проблем влияет на устойчивость развития отдельных экономических субъектов и, как следствие, на развитие экономики региона, строительной отрасли в целом.

Одним из направлений энергосбережения является активное применение с 90-х гг. XX века практически во всех развитых странах мира (в более чем пятидесяти), включая Австралию, США, Канаду, осветительных систем с полыми трубчатыми световодами.

Российские строители и архитекторы об этих системах имеют весьма ограниченное представление, хотя впервые «полые световоды» были разработаны в 80-х годах в СССР учеными ВНИСИ Ю.Б. Айзенбергом, В.М. Пятигорским, А.А. Коробко и др., создавшими методики расчета освещенности от щелевых световодов (свет попадал в помещение через прозрачную щель в трубе, покрытой внутри высокоотражающим зеркальным покрытием). Поэтому применялись они в России лишь на нескольких объектах, например, в здании ОАО «Центр международной торговли», в ОАО «Банк Москвы», в здании детского сада г. Краснодар, в подземных помещениях Правовой академии г. Нижний Новгород, в подземном автосервисе г. Сочи. Небольшое число реализованных проектов, связанных с применением световодов, заказывались иностранными компаниями, работающими в России.

Главное и решающее достоинство осветительных систем с полыми трубчатыми световодами – колоссальная экономия электроэнергии. Кроме того, они преобразуют естественный световой поток без заметных потерь в другие виды энергии. Чего нельзя, кстати, сказать, например, о ветряных генераторах или солнечных батареях.



Рис. 1. Коллектор трубчатого световода итальянской фирмы «Solarspot International S.R.L.»<sup>6</sup>

Системы с полыми трубчатыми световодами состоят из трех основных узлов: светопринимающего (рис. 1), транспортирующего свет и светоперераспределяющего (светорассеивающего, рис. 2).

---

<sup>6</sup> Использовано фото с сайта <http://www.infobuildproducts.com/companies/solarspot/>. Дата обращения 05.05.2016.



Рис. 2. Диффузор (рассеиватель) итальянской фирмы «Solar Spot International S.R.L.»<sup>7</sup>

Светопринимающий узел – коллектор – собирает максимально возможное количество солнечного света для дальнейшей его транспортировки к месту использования [1]. Он может быть расположен горизонтально или наклонен к оси трубы.

В качестве транспортирующего узла применяются полые трубчатые зеркальные (за счет применения микропризматической пленки толщиной 0.5 мм, состоящей из 600 слоев тончайшего пластика, с коэффициентом отражения 99.8% без хроматических искажений цветопередачи) световоды, причем диаметр применяемой трубы может находиться в пределах от 250 до 900 мм. Увеличение диаметра трубы уменьшает потери света.

Светоперераспределяющий узел – диффузор – распределяет свет в помещении. Изготавливаются диффузоры в виде обычных потолочных панелей, мало отличающихся по внешнему виду от потолочных светильников. В виду изменяющейся внешней естественной освещенности диффузоры по периметру комплектуются группой встроенных энергоэффективных светодиодов, которые меняют свою интенсивность работы по мере убывающего потока дневного света.

В данной работе предпринята попытка доказать рентабельность и эффективность применения осветительных систем на основе полых трубчатых световодов.

Для примера рассмотрим автомобильный тоннель № 6, длиной 2,6 км, на обходе г. Сочи, построенный к открытию зимних Олимпийских игр 2014 г. (рис. 3).

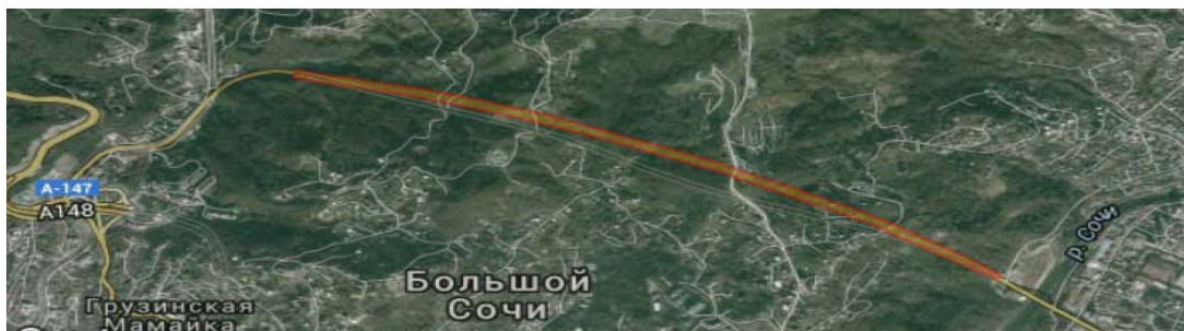


Рис. 3. Схема автомобильного тоннеля в обход г. Сочи

<sup>7</sup> Использовано фото с сайта <http://www.infobuildproducts.com/companies/solarspot/>. Дата обращения 05.05.2016.

Расчеты материальных и эксплуатационных затрат на освещение рассматриваемого тоннеля при использовании искусственного освещения с помощью светодиодных светильников и с помощью энергоэффективной осветительной системы за период 20 лет приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Материальные и эксплуатационные затраты на освещение тоннеля при использовании искусственного (с помощью светодиодных светильников) и естественного освещения (с помощью энергоэффективной осветительной системы «Solarspot D38») за период 20 лет**

Наименование светового оборудования, использованного для освещения тоннеля	Количество в одном комплексе <sup>8</sup>	Цена за единицу продукции (руб.)	Стоимость всего примененного оборудования за 20 лет (руб.)	Потребляемая мощность комплекта светильников, Вт	Световой поток 1 комплекта оборудования, лм	Затраты на оплату электроэнергии использованных комплектов светильников с учетом ежегодного прогнозируемого роста ее стоимости, млн. руб.
Светильник светодиодный «iLed-s-2» (или аналог), потребляемая мощность 80 Вт, световой поток 9400 Лм, срок службы 100 000 час (11.4 года). Использован в системе общего освещения.	433	6 600	5 715 600 (за 2 комплекта)	6068,928 · 10 <sup>6</sup>	4 070 200	20,364288
Модульный светодиодный светильник ЭРА LM-5-840-C1 (или аналог), потребляемая мощность 5 Вт, ресурс 30 000 час. (3,42 года). Использован в системе общего освещения.	210	1 014	1 277 640 (за 6 комплектов)	183,96 · 10 <sup>6</sup>	-	0,617278
Светильник светодиодный встраиваемый 3000K IP20 (или аналог), потребляемая мощность 24 Вт, световой поток 1200 Лм, диаметр 195 мм. Срок службы 30 000 час (3.42 года). Использован в системе общего освещения.	217	201 2	2 619 624 (за 6 комплектов)	912,4416 · 10 <sup>6</sup>	-	3,061698
«Solarspot D38» (или аналог), потребляемая мощность 80 Вт, световой поток 7500 Лм. Использован в системе общего освещения.	542	714 € (52 122 руб.)	28 250 124	3165,28 · 10 <sup>6</sup>	4 065 000	10,621097

При расчете стоимости электроэнергии в европейской части России с учетом ее прогнозируемого роста использовалась методика, приведенная в работе [2].

<sup>8</sup> Комплект светильников применяется в течение декларируемого производителем срока службы.

Далее необходимо определить конфигурацию световодов, которые можно было бы применить, чтобы осветить ту же самую площадь тоннеля в дневное время.

Проектная освещенность [3] для строительного объекта подобного рода составляет 100 лк. Естественную освещенность в городе Сочи можно использовать 12 часов в сутки (с 7:00 до 19:00) в весенне-летний период и около 7 часов в сутки – в осенне-зимний период. Площадь дорожного покрытия, которую необходимо осветить, составляет приблизительно 26000 м<sup>2</sup>.

Из-за сложности рельефа для производства буровых работ экономически целесообразным представляется лишь замена светильников «iLed-s-2». По мощности светового потока примерный эквивалент (от 6000 до 9000 лм) им составит система «Solarspot D38» диаметром 375 мм итальянской фирмы «Solarspot International S.R.L.» - бесспорного лидера среди остальных производителей по главному параметру световодов: эффективности передачи освещения<sup>9</sup>. Потребуется 542 осветительные системы.

При определении стоимости комплекта оборудования, использовалась информация фирмы-производителя [4]. В комплект оборудования вошли: плоский круглый бесшовный алюминиевый кровельный адаптер, базовый комплект с круглым диффузором в сборе, переходной короб круг-квадрат из пластика с высокой степенью отражательной способности, удлинительная труба (покрытие Vegalux™), угловой адаптер, прозрачный акриловый купол PMMA – входной узел системы, алюминиевое установочное кольцо, диммер NOTTEDITM, устройство ночного освещения, изолирующий материал для труб световодов (защита от конденсата, образующегося внутри системы из-за разницы температур в зимний период) из вспененного полиэтилена. Стоимость одного комплекта составила 714 € (52122 руб. в соответствии с курсом российского рубля на 15.05.2016 г.).

Стоимость 542 осветительных систем составит 28 250 124 руб.

В итоге мы получили следующие результаты.

11 913 427 руб. – сумма материальных затрат за 20 лет эксплуатации, превышающих затраты при использовании искусственного освещения.

Однако, утверждаем, что применение осветительных систем на основе полых трубчатых световодов имеет безусловные преимущества. Доказательства утверждения приведены в выводах научного исследования.

Еще в 2014 году, при курсе европейской валюты, равной 43 рубля, данный проект имел бы полную окупаемость через 20 лет эксплуатации. В настоящий момент в России предпринимаются эффективные действия по укреплению национальной экономики, ее

---

<sup>9</sup> В соответствии с результатами испытаний ведущих мировых световодных систем на предмет эффективности доставки света, проведенных в 2012 году в исследовательском центре BRE (Великобритания).

диверсификации. Такие шаги неминуемо приведут к укреплению национальной валюты, что положительно скажется на реализации подобных энергосберегающих проектах в строительстве.

1. Стоимость разрабатываемого европейскими фирмами светотехнического оборудования неуклонно уменьшается в виду развития прогрессивных технологий. Кроме того, российскими учеными и производителями ведутся активные исследования в области создания отечественных высокопродуктивных осветительных систем, которые будут иметь более низкую стоимость.

2. При проектировании новых тоннелей вариант освещения с использованием дневного света должен учитываться на начальной стадии проекта. Это существенно сократит срок его окупаемости.

3. Применение осветительных систем на основе полых трубчатых световодов позволит существенно снизить потребление электроэнергии, что связано с выбросом вредных загрязняющих веществ в атмосферу. Проблема глобального потепления, кислотных дождей и пр. в последние годы становится проблемой глобального значения. Только рассмотренный проект смог бы сократить эмиссию углекислого газа в атмосферу в количестве 2322 т, эмиссию сернистого газа – в количестве более 2-х тонн, эмиссию NO<sub>2</sub> – более 660 кг. Впечатляющий результат за 20 лет!

#### **Библиографический список**

1. Кузнецов А. Неиспользованный потенциал полых трубчатых световодов. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://цэи.рф/неиспользованный-потенциал-полых-тр/> Дата обращения 21.04.2016 г.
2. Кононов Д.Ю., Кононов Ю.Д. Долгосрочное прогнозирование динамики цен на российских энергетических рынках. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.ecfor.ru/pdf.php?id=2005/6/06>. Дата обращения 11.05.2016 г.
3. Естественное и искусственное освещение. СНиП 23-05-95 Министерство строительства РФ. Москва. 1995. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/data1/1/1898/>. Дата обращения 12.05.2016 г.
4. Сайт компании «Solarspot International S.R.L.». Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.infobuildproducts.com/companies/solarspot/>. Дата обращения 11.05.2016 г.

## **ОБЗОР И АНАЛИЗ РИСКА АВАРИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПГ**

*Полуян Л.В.*

НИЦ «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН,  
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург  
sec@wekt.ru

*Гурьев Е.С.*

НИЦ «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН,  
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург  
sec@wekt.ru



В Арктическом регионе пересекаются геополитические, оборонные, макроэкономические, экологические и научные интересы нашего государства. Особенности эксплуатации потенциально опасных объектов в арктических условиях, производящих 11% национального дохода России и 22% российского экспорта при доле населения всего в 1% [1], позволяют практически все их отнести к взаимозависимым критичным инфраструктурам.

Открытие и освоение Тамбейского газоконденсатного месторождения и строительство завода по сжижению природного газа на полуострове Ямал является одним из самых масштабных проектов отечественной газовой промышленности в арктических условиях. СПГ является криогенной жидкостью и обеспечение промышленной безопасности в условиях внешних низких температур при хранении в изотермических резервуарах выдвигается на первый план.

Анализ изученных источников по поведению СПГ при разрушении резервуара показал разброс результатов в разных источниках. Так, согласно [2] при аварии с СПГ практически не возникает эффекта «Bleve» и доля выброса газа в первичное облако незначительная, составляет 1.5–2 %. Такой незначительный выброс газа слабо влияет на пожаровзрывоопасность ситуации при использовании резервуаров объемом 10–20 тыс. м<sup>3</sup>, в то время как для резервуаров объемом 160 тыс. м<sup>3</sup> (а в будущем планируется использовать резервуары емкостью 200–260 тыс. куб. м и более), установленных в резервуарном парке завода «Ямал СПГ», выброс в первичное облако составит уже 996–1328 тонн. В тоже время, согласно ГОСТ [3], в первичное облако при разрушении емкости со сжиженным газом, находящейся при атмосферном давлении, ничего не выбрасывается.

Наиболее на наш взгляд достоверными источниками, связанными с авариями на изотермических резервуарах СПГ, являются исследования авторов [4]. До настоящего времени представления о масштабах, характере и технических параметрах аварий с проливами СПГ ограничены. При горении и взрыве газоздушных смесей СПГ отмечается как разброс сценариев аварий, так и значительный разброс численных значений базовых параметров процесса горения и взрыва.

Процесс истечения жидкого метана из изотермического резервуара в окружающее пространство показывает резкое изменение термодинамики процесса газификации и смесеобразования газообразного метана с воздухом и образования взрывопожароопасной смеси, при котором скорость испарения СПГ возрастает в сотни и тысячи раз, а скорость образования пожаровзрывоопасной смеси - соответственно также [4].

Суммарная массовая скорость испарения и образования объема взрывоопасной метановоздушной смеси резко увеличивается в течение секунд за счет растекания метана и увеличения площади его испарения. Так, при квазимгновенном разрушении изотермического



резервуара хранения СПГ площадь испарения (горения) размером 4–5 тыс. кв. м может увеличиться до 10–20 тыс. кв. м за 15–20 с. Скорость кинетического режима горения колеблется от 4–5 см/с при ламинарном горении на НКПВ или ВКПВ до 150–200 м/с при развитом турбулентном кинетическом горении смесей состава, близкого к стехиометрическому. Разница в скорости протекания основного процесса горения составляет 50–60 тыс. раз и более [4].

Анализ диффузионных процессов горения газовоздушных смесей СПГ показал, что скорость распространения процесса горения зависит от концентрационного состава и степени турбулентности горючей смеси, но и сам состав смеси и скорость ее образования зависят от скорости испарения СПГ и скорости смесеобразования. А скорость испарения зависит от мощности внешних тепловых потоков и состояния окружающей атмосферы. Даже если сократить в первом приближении диапазон изменения всех параметров горения в 10 и даже в 100 раз, разброс основных параметров процесса горения и взрыва составляет (примерно в 100–200 раз в каждую сторону) [4].

В настоящей работе рассматриваются две модели поведения аварийного выброса СПГ. Первая модель описывает процесс поведения при проливе СПГ на поверхность с учетом трех временных периодов испарения, вторая – кумулятивное поведение СПГ и воздушных масс при распространении метановоздушной смеси и определение зон распространения облака, ограниченных нижним и верхним концентрационными пределами воспламенения. Модели позволят приблизиться к более точной оценке зон поражения и риска.

Дан анализ зон поражения для СПГ различных процентных составов по композиции. Расчет и сравнение результатов выполнены для следующих условий – свободный разлив, наличие обвалования резервуара, обвалование группы резервуаров, различные летние и зимние температуры, скорость ветра, время суток, загроможденность окружающего пространства и др.

После определения по первой модели массы СПГ, которая будет участвовать в создании поражающих факторов дана оценка риска в резервуарном парке СПГ с использованием при расчетах ПК «Токсин+риск» [5].

Проведенный анализ исследований и расчеты показали существование различных оценок поведения на поверхности и в атмосфере аварийной массы выброшенного СПГ. Следуя каждой из таких методик можно получить и различные зоны поражения, что не позволяет адекватно оценить риск. При решении задачи по испарению при проливе СПГ в рассмотренных методиках не учитывается поведение СПГ на поверхности и в атмосфере при различных температурах, что дает большой разброс результатов. Не анализируется поведение облака СПГ в динамике его развития в атмосфере при отсутствии источника

зажигания, оценка снижения опасности взрыва с удалением от центра разлива при различных внешних условиях. Таким образом, для достоверного описания механизма аварии изотермических резервуаров со СПГ требуется продолжение научных исследований и натурных экспериментов.

На данном этапе рассмотренные модели испарения и формирования метановоздушных облаков можно рекомендовать к практическому использованию при проведении анализа риска в части определения масштабов последствий аварий, разработке деклараций промышленной безопасности, проектной документации на строительство, проведении экспертизы проектной документации.

#### **Библиографический список**

1. Вялышев А.И., Добров В.М. Комплексная мониторинг – неотъемлемая часть безопасности Арктической зоны Российской Федерации Арктика экология и экономика №1(13), С.38-47, 2014.
2. И.А. Болодьян, В.П. Молчанов, Ю.И. Дешевых и др. Процессы испарения и формирования пожаровзрывоопасных облаков при проливе жидкого метана. Методики оценки параметров. 2000 г. (Электронный ресурс [www.titan-optima.ru](http://www.titan-optima.ru)<http://www.secuteck.ru/articles2/firesec/problemypozharovzryvo-bezopasnosti-sug-i-spg-tushit-nelzya-kupirovat/>, дата обращения 30.01.2016).
3. ГОСТ 12.3.047-12 ССТБ Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
4. Иосиф Абдурагимов И., Геннадий Куприн Г. Проблемы пожаровзрывобезопасности СУГ и СПГ: тушить нельзя купировать! (Электронный ресурс <http://www.secuteck.ru/articles2/firesec/problemypozharovzryvo-bezopasnosti-sug-i-spg-tushit-nelzya-kupirovat/>, дата обращения 30.03.2016).
5. Программный комплекс «Токсик+риск, версия 4.3».

**II Международная конференция  
«Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур»**

**ОНЛАЙН СЕРВИС ДЛЯ ОЦЕНКИ  
БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ**

*Радикова А.В.*

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск,  
anna.radikova.ar@gmail.com

*Анашин В.О.*

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск,  
anashin2111@gmail.com

**26-27 июня 2016 года,  
Екатеринбург, Россия**

Современные города характеризуются плотной застройкой как жилых, так и производственных зданий. Тенденция роста в сфере строительства будет поддерживаться и в дальнейшем в связи с демографическим ростом, модернизацией производственных процессов, а также созданием новых производств. Возникает необходимость определения безопасных территорий для строительства спальных районов и производственных объектов. Решение этой задачи сводится к оценке уровня опасностей, возможных на определенных территориях. Значимую роль в плане анализа опасностей играют техногенные объекты, представляющие собой источник опасности. Для количественной оценки уровня опасности в России была принята методология риск-анализа, включающая в себя анализ и оценку риска.

В целях осуществления контроля за деятельностью опасных объектов, представляющих собой наибольшую угрозу, и оценки уровня опасности направлены меры по внедрению в повседневную практику технологии оценки рисков посредством подготовки нормативных документов: Декларация промышленной безопасности, Паспорт безопасности, План ликвидации аварийных ситуаций, План ликвидации аварийных разливов нефтепродуктов и т.д.

Вместе с тем, существует ряд причин, которые затрудняют широкое внедрение в повседневную практику технологии количественной оценки рисков:

- Недостаток кадров, владеющих методами риск-анализа;
- Многообразие и сложность задач, возникающих при прогнозировании последствий аварий и риск-анализа;
- Существенная неопределенность параметров техногенного риска.

Современные информационные технологии позволяют создать продукт для решения задач риск-анализа, применяемый в повседневной практике. Это решение предполагает использование в практической деятельности – технологии SaaS программное обеспечение как услуга. Создание онлайн сервиса по прогнозированию последствий аварий позволит пользователю, не имеющему знаний в области анализа риска, оценить объект, представляющий угрозу, посредством решаемых сервисом задач:

- Расчет зон поражения персонала и населения и зон повреждения зданий и сооружений на объекте и прилегающих к нему территориях.
- Расчет потенциального риска (в зависимости от вероятности поражения человека в определенной зоне на территории объекта).
- Расчет индивидуального и социального рисков.
- Нанесение на карту зон поражения/повреждения и изолиний потенциального риска.

- Визуализация результатов расчетов в виде зависимости величины поражающего фактора, вероятности поражения человека и потенциального риска на определенном расстоянии от источника опасности.

Единая система оценки безопасности объекта минимизирует рутинный труд, сокращает время получения результата в сравнении с программными комплексами, устанавливаемыми стационарно, централизует и автоматизирует процессы прогнозирования последствий аварий. Применение онлайн сервиса осуществляет возможность выбора нужных пользователю расчетных модулей и удешевляет использование программ за счет установки и обновления программного обеспечения на сервере.

Определение уровня риска для каждого опасного объекта по принципу единообразия расчетов позволяет ранжировать территории по уровню опасности и выделять области с наиболее высокими показателями рисков. Отображение результатов расчетов на картографическом сервисе (например, ArcGIS, MapInfo, Яндекс-карты, Google map) дает наглядное представление о степени опасности территории. Такой подход позволяет выявить наиболее подходящие территории для развития инфраструктуры с учетом возможных аварий и их последствий (гибель людей и цепные реакции аварий).

#### **Библиографический список**

1. Приказ МЧС РФ от 04.11.2004 N 506 «Об утверждении типового паспорта безопасности опасного объекта» (Зарегистрировано в Минюсте РФ 22.12.2004 N 6218).
2. Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 13.07.2015) «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».
3. Приказ МЧС РФ от 10.07.2009 N 404 (ред. от 14.12.2010) «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» (Зарегистрировано в Минюсте РФ 17.08.2009 N 14541).

## **РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ С ВНЕДРЕНИЕМ BIM**

*Сальников В.Б.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

*Беляков В.А.*

Институт проектирования, архитектуры и дизайна, г. Екатеринбург  
belyakow78@inpad.ru

*Бернгардт К.В.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

Технология BIM (Building Information Modeling – Информационное моделирование зданий) предполагает построение одной или нескольких виртуальных моделей здания в цифровом виде. Применение BIM позволяет с высокой степенью достоверности воссоздать сам объект со всеми конструкциями, материалами, инженерным оснащением и протекающими в нем процессами и отладить на виртуальной модели основные проектные решения [1].

Использование моделей облегчает процесс проектирования на всех его этапах, обеспечивая более тщательные анализ и контроль. Будучи завершёнными, эти компьютерные модели содержат точную геометрию конструкции и все необходимые данные для закупки материалов, изготовления конструкций и производства строительных работ. Информационная модель существует в течение всего жизненного цикла здания, и даже дольше. Содержащаяся в ней информация может изменяться, дополняться, заменяться, отражая текущее состояние здания.

Специалисты ООО «Институт проектирования, архитектуры и дизайна» (ООО «ИнПАД») совместно со Строительным Институтом ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» разработали проекты многоквартирных жилых домов квартала №16 в г. Березники с использованием BIM.

Техническим заданием на проектирование были поставлены жесткие требования по экономической эффективности объекта:

- себестоимость квадратного метра коммерческой площади – не более 30 000 рублей.
- фиксированное соотношение площадей в жилых квартирах.
- сжатые сроки строительно-монтажных работ.

По результатам проектирования были достигнуты:

- оптимизация планировочных решений для получения максимального соотношения коммерческая / общая площадь 0.85;
- оптимизация монолитных конструкций с соотношением расход бетона к реализуемой площади до 0.44 ( $\text{м}^3/\text{м}^2$ ) при среднем расходе стали 82  $\text{кг}/\text{м}^3$  бетона;
- уточнение расхода материалов на выполнение строительно-монтажных работ;
- исключение ошибок в проектных решениях за счет возможности проверки коллизий на стадии проработки модели здания;
- себестоимость объекта на уровне 28500 руб./ $\text{м}^2$ .

Использование цифровой модели здания позволило произвести уточненный расчет влияния неблагоприятных инженерно-геологических условий площадки строительства.

Проектная и рабочая документация по данному объекту выполнялась в лицензированном программном комплексе Autodesk Revit.

Элементы цифровой модели здания показаны на рисунках 1-3 ниже.



Рис. 1. Модель здания. Вид сбоку

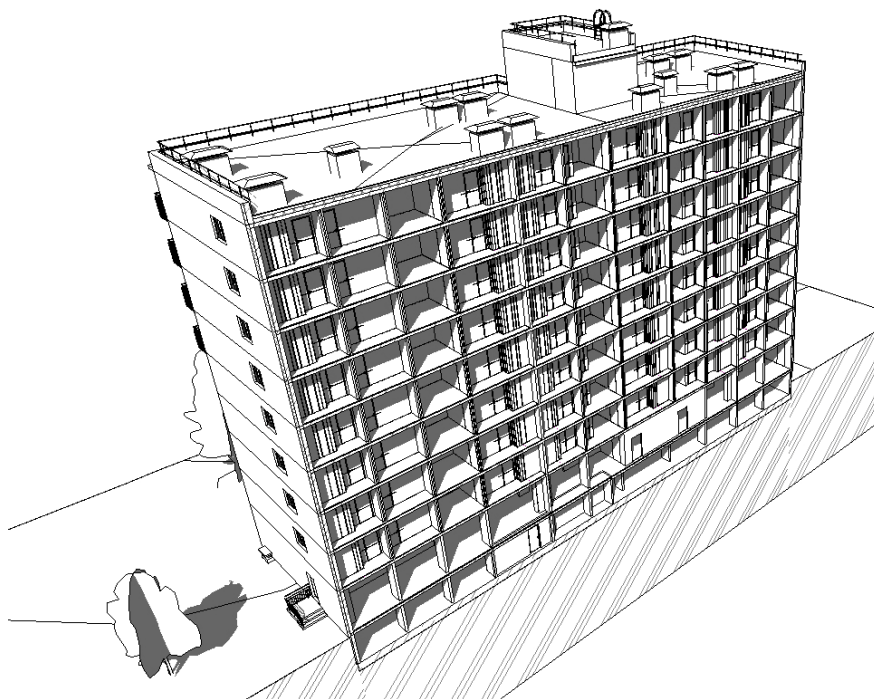


Рис. 2. Модель здания. Вид с фасада

На основании результатов расчета была разработана инновационная модель усиления грунтового основания проектируемых зданий, которая получила высокую оценку специалистов Уральского филиала ФГБУ «ВНИИ ГОЧС МЧС РФ» и КГАУ «Управление государственной экспертизы Пермского края». На площадке строительства выполнено создание грунтового массива с помощью грунтоцементных элементов, что ранее не применялось при проектировании и возведении зданий в данном регионе.



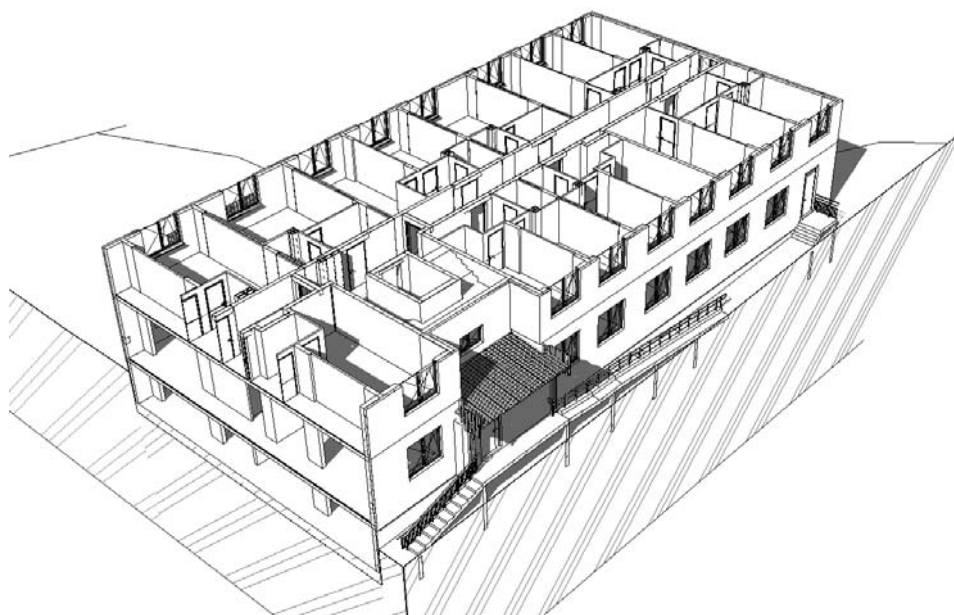


Рис. 3. Модель здания. Вид в разрезе

В настоящий момент (2015-2016 г.) возведено пять 9-тиэтажных жилых домов в Правобережной части города Березники. Таким образом, технология BIM показала возможность достижения высокой скорости, объема и качества проектирования и строительства, а также значительную экономию бюджетных средств.

#### **Библиографический список**

Талапов В.В. BIM: что под этим обычно понимают. 27 октября 2014 г. URL: [http://isicad.ru/ru/articles.php?article\\_num=17298](http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=17298) (дата обращения 08.05.2016).

**II Международная конференция  
«Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур»**

**О МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОМ  
СПОРТИВНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНОМ  
КОМПЛЕКСЕ В Г.БЕРЕЗОВСКИЙ**

*Сауков Д.А.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург  
Ddmmitry93@mail.ru

*Гинзберг Л.А.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург  
Laginzb@gmail.com

**26-27 июня 2016 года,  
Екатеринбург, Россия**

Город Березовский находится в 12 км от столицы Урала, г. Екатеринбурга. Это промышленный городок с населением в 60 тыс., который в последние годы активно застраивается современными жилыми зданиями. И поэтому, становится все более привлекательным для многих екатеринбуржцев, за счет близкого расположения, более дешевого жилья и лучшим состоянием экологии. Однако, несмотря на активную застройку и постепенное улучшение социальной инфраструктуры Березовский не может похвастаться обилием мест для проведения досуга, на что часто ссылаются постоянные и новые жители.

Основными социальными объектами для проведения досуга в городе служат два дворца молодежи и культуры, музеи золота и краеведческий, исторический сквер, парк, кинотеатр, стадион. Особого внимания заслуживает открытый в 2014 г. экстрим-парк «Горизонт».

«Горизонт» является первым и единственным в Свердловской области и соседних областях парком экстремальных видов спорта. Экстрим-парк расположен на условной границе въезда в центр города вдоль ул. Ленина.

В настоящее время на открытой площади этого парка размещаются: зона силовых упражнений (воркаут площадка), зона с трамплинами и роллер-трасса. Парк расположился на месте густого растительного массива с небольшой речкой Березовка. В 2013 году речка была помещена в трубу, деревья срублены и в образовавшемся котловане и расположились зоны экстрим-парка (рис. 1).



Рис. 1. Панорама экстрим-парка «Горизонт» летом 2015 года

Спортивного сооружения подобного «Горизонту» спортсмены и любители экстремальных видов спорта в Свердловской области добивались еще с 2006 года, собирая подписи и личные средства. После его устройства, даже в таком примитивном виде, он

привлек любителей и спортсменов Свердловской, Челябинской и Тюменской областей. Для жителей Березовского, парк стал значимым местом для проведения досуга в благоприятные сезоны года.

Именно сезонность и некоторый недостаток площадей являются существенными недостатками парка в его нынешнем виде. В зимнее время парк закрыт и представляет собой засыпанный снегом котлован в центральной и исторической части города (рис. 2).



Рис. 2. Экстрим-парк «Горизонт» в феврале 2016 года

Подобного вида парки в настоящее время размещают в неиспользуемых одноэтажных промышленных зданиях, обладающих необходимым пространством, благодаря большому расстоянию между колоннами и высоким уровнем покрытия, что необходимо для выполнения высотных трюков (см. прим. на рис. 3).

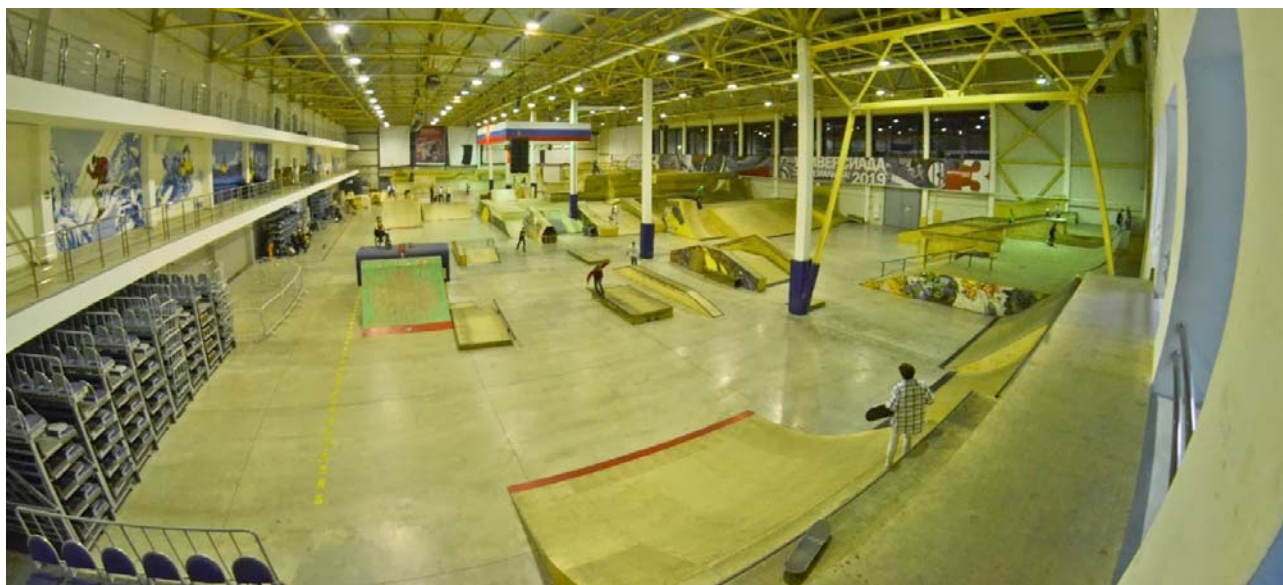


Рис. 3. Пример экстрим-парка в бывшем промышленном здании г. Красноярск



После анализа решения экстрим территорий как российских, так и зарубежных, а также потребностей всех социальных групп г. Березовский, появилась идея модернизировать существующий экстрим-парк «Горизонт» с включением прилегающих территорий.

Факторы, принятые во внимание при модернизации территории:

- недостаточное количество общественных мест и спортивных площадей в г. Березовский;
- недостаточное количество спортивных площадей г. Березовский;
- нерациональное использование большой территории;
- сезонный характер использования экстрим-парка «Горизонт»;
- непрезентабельность вида участка в центральной части г. Березовский;
- возможность использования территории в несколько уровней благодаря сложившемуся рельефу участка;
- необходимость переноса экстрим-парка «Горизонт» в закрытое пространство;
- ограниченность территории с точки зрения пользования социальными группами.

Эти факторы были включены в концепцию дипломного проекта кафедры архитектуры строительного института УрФУ (специальность проектирование зданий).

В Овраге глубиной до 8 м, в котором в настоящее время приютился экстрим-парк, предлагается разместить нижний уровень трехэтажного объема, который будет отапливаем и использоваться круглогодично. Два верхних уровня будут предназначены для спортивно-общественных мероприятий на открытом воздухе в любую погоду (бег по устроенным беговым дорожкам, силовые упражнения (ворк-аут), настольные игры, проведение массовых мероприятия и др.)

Этот трехэтажный объем выполняется в монолитном каркасе с сеткой колонн 6х8 и 6х12 м и эксплуатируемой зеленой кровлей. Расположенные рядом ветхие здания Березовского ЖКХ и хозяйственные постройки, прошедшие через максимальный уровень износа предполагается снести.

Таким образом, территория оврага выравнивается относительно ул. Ленина, которая является крупной центральной и связующей улицей г. Березовский с большим автомобильным потоком (рис. 4).

Территория между ул. Ленина и организованного трехуровневого экстрим-парка позволяет расположить три корпуса, в которых предполагается размещение части социальных объектов, недостающих г. Березовский. Три корпуса помимо своих функций будут служить барьером между спортивно-прогулочной зоной парка от шума и загазованностей от ул. Ленина.



Рис. 4. Спутниковая съемка территории экстрим-парка «Горизонт». Красной линией обозначены границы территории взятой для проектирования

В этих корпусах предполагаются:

- универсальный спортивный зал (см. рис. 5);
- фитнес-центр (см. рис. 5).

Вместо старого и архитектурно убогого здания ЖКХ, находящийся на прилегающей территории, предполагается возвести многоэтажный объем здания, в котором будут размещены офисы и помещения гостиницы, необходимой для иногородних спортсменов и гостей города Березовского. Это будет многофункциональное здание, так же служащее барьером, полностью ограждающее открытую зона парка (см. рис. 5).

Универсальный спортивный зал предназначен для пользования жителями г. Березовский, где они смогут заниматься такими видами спорта как волейбол, мини-футбол, баскетбол, гандбол, теннис. Помимо основной функции здание может служить местом проведения небольших массовых мероприятий, чему способствует легко трансформируемый зал. Здание выполнено в монолитном каркасе с покрытием по металлическим фермам. Наружная отделка – витражи со структурным остеклением и декоративными цветными вставками в виде полос. Глухая часть ограждений выполнена из сэндвич-панелей.



Следующее здание – фитнес-центр, отделяется от универсального спортивного зала аллеей, позволяющей проходить напрямую через экстрим-парк на ул. Набережная.

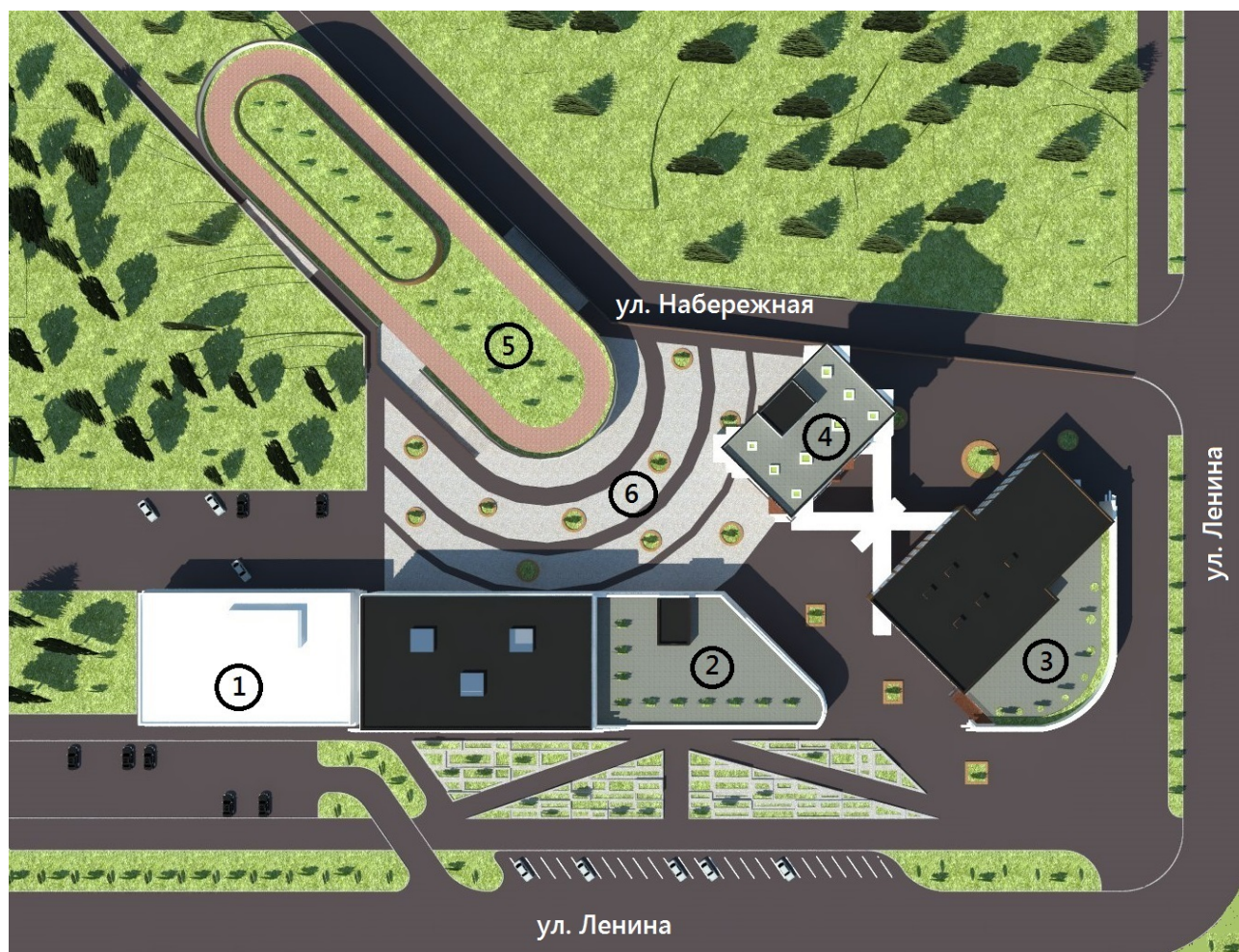


Рис.5. Схема проектируемого генерального плана. 1 – существующее здание бывшего кинотеатра, 2 – проектируемый универсальный спортивный зал, 3 – проектируемое здание фитнес-центра, 4 – проектируемое многофункциональное здание, 5 – проектируемая крытая воркаут площадка с беговыми дорожками на втором этаже, 6 – проектируемый крытый экстрим-парк с универсальной площадкой на втором этаже

Фитнес-центр – «атрибут» современного города, необходимый г. Березовский, который активно заселяется молодежью. Общественных зданий такого типа в городе в настоящее время нет.

В 3-х этажном здании фитнес-центра разместятся: бассейн, залы общих и индивидуальных занятий, массажные кабинеты, танцевальные залы, залы боевых искусств и все необходимые подсобные помещения. Здание так же выполнено в монолитном железобетонном каркасе, с наружными стенами из кирпича с фасадами из штукатурки и структурных витражей, аналогичных фасадам универсального спортивного зала.

Доминантой всего комплекса является многоэтажное многофункциональное здание (рис. 6), так же выполненное в цельно монолитном железобетонном каркасе. На 12-ти этажах разместятся офисы снесенного ЖКХ и других компаний, кафе, ресторан на последнем этаже, обзорная площадка и мини-гостиница на 60 человек.



Рис. 6. Перспектива предполагаемой застройки территории

Этот высотный корпус имеет две лестнично-лифтовые вертикальные коммуникации для офисной и гостиничной части, функционально не сопрягающихся по этажам.

Многоэтажное здание соединено с фитнес-центром переходами на уровне второго этажа, позволяющими спокойно передвигаться между двумя зданиями не покидая их, а так же давая людским потокам совершенно беспрепятственно двигаться по всей территории парка.

Под этим зданием и фитнес-центром запроектирована двух-уровневая подземная парковка для посетителей на 140 автомобилей. С каждого этажа парковки организованы входы в оба здания.

В итоге, должен получиться единый и удобный комплекс в одинаково шаговой доступности для жителей всех частей г. Березовский. Строгие объемы и неброская отделка зданий аккуратно впишется в скромную архитектуру небольшого городка. А примененные при строительстве материалы, такие как бетон и сухие смеси позволят местным заводам по производству строительных материалов получить новые заказы.



**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С  
ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТУМЕСЦЕНТНЫХ  
ОГНЕЗАЩИТНЫХ СОСТАВОВ**

*Смирнов В.В.*

Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург,  
НИЦ «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН,  
г. Екатеринбург,  
[smirnov.svv@gmail.com](mailto:smirnov.svv@gmail.com)

*Алексеев С.Г.*

Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург,  
НИЦ «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН,  
г. Екатеринбург

В соответствии с Федеральным законом от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [1] фактические пределы огнестойкости строительных конструкций определяются одним из способов:

- в условиях стандартных огневых испытаний в соответствии с ГОСТ 30247.0 [2] и ГОСТ 30247.1 [3];
- расчетно-аналитическим способом, установленным нормативным документом по пожарной безопасности.

По результатам испытаний по ГОСТ 30247.0 и 30247.1 доступна только информация о том, что данная стальная конструкция (с заданной приведенной толщиной металла) имеет соответствующий предел огнестойкости  $R$  при такой-то толщине огнезащитного покрытия. При этом результаты испытаний не дают ответа на вопрос, какую минимальную толщину огнезащитного покрытия необходимо нанести на стальную конструкцию для обеспечения необходимого предела огнестойкости.

Наиболее распространенным способом проектирования огнезащиты металлических конструкций в настоящее время является определение толщины огнезащитного слоя на основании сертификата огнезащитной эффективности, несмотря на то, что в области применения ГОСТ Р 53295-2009 [4] указано, что данный стандарт не распространяется на определение предела огнестойкости строительных конструкций.

В 2013 году ВНИИПО МЧС России была утверждена методика «Средства огнезащиты для стальных конструкций. Расчетно-экспериментальный метод определения предела огнестойкости металлических конструкций с тонкослойными огнезащитными покрытиями» [5].

Нами была проведена обработка результатов огневых испытаний в соответствии с [4] стального двутавра, обработанного экспериментальной огнезащитной краской, математическими методами по методикам ВНИИПО и европейского стандарта ENV 13381-4 [6]. Результаты сравнительного анализа приведены на рисунке.

Точность методов расчета пределов огнестойкости стальных строительных конструкций оценивалась с помощью среднего абсолютного отклонения  $D_1$  и процентного отклонения  $D_2$ .

$$D_1 = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{\tau^p - \tau^3}{\tau^3} \right|, \quad D_2 = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{\tau^p - \tau^3}{\tau^3} \right| \cdot 100\%$$

где  $\tau^p$  – расчетное время достижения критической температуры, мин;  $\tau^3$  – экспериментальное время достижения критической температуры, мин;  $n$  – количество измерений.

Результаты сравнительного анализа результатов расчета в «проектном» интервале критических температур 350–500°C представлены в таблице и на рисунке.

Сравнительный анализ методов расчета пределов огнестойкости

Метод	$D_1$ , мин.	$D_2$ , %	$n$
Методика	22,36	40,47	20
ENV 13381-4:2002	2,94	4,94	

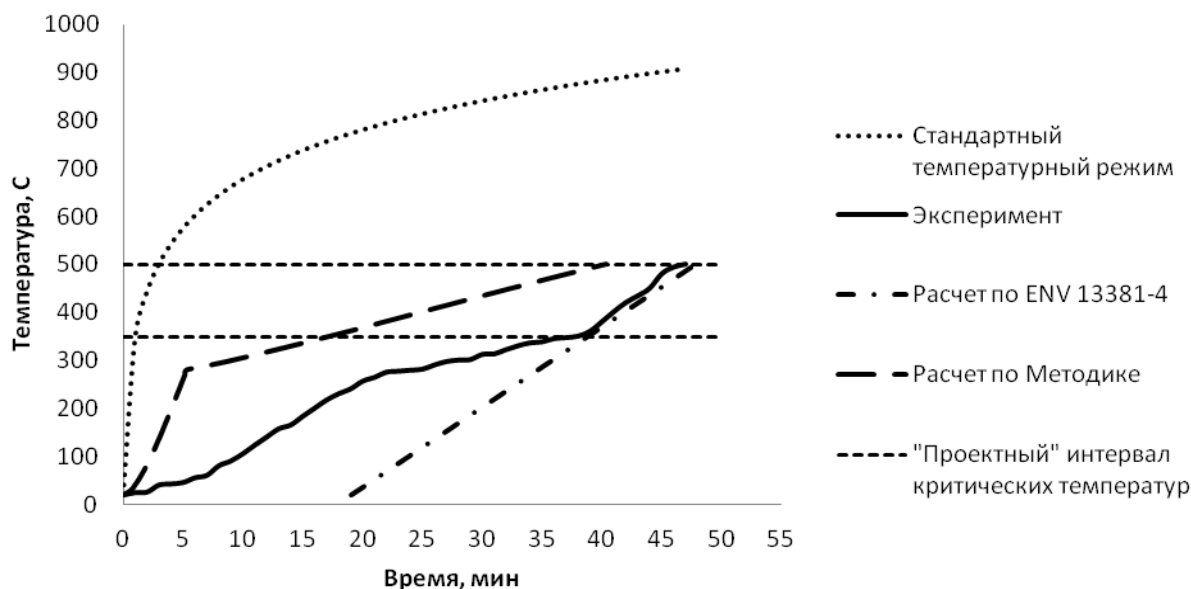


Рис. Сравнительный анализ методов расчета пределов огнестойкости

Полученные результаты сравнительного анализа позволяет сделать вывод, что методика ВНИИПО по точности уступает методу европейской методике стандарта ENV 13381-4.

#### Библиографический список

1. Российская Федерация. Законы. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности. М.: Издательский дом «Ажур», 2008 132 с.
2. ГОСТ 30247.0. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. М.: Издательство стандартов, 1996. 11 с.
3. ГОСТ 30247.1. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции. М.: Издательство стандартов, 1996. – 6 с.
4. ГОСТ Р 53295-2009. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности. М.: Стандартинформ, 2009. 10 с.
5. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Расчетно-экспериментальный метод определения предела огнестойкости несущих металлических конструкций с тонкослойными огнезащитными покрытиями. Методика. СПб.: СПб. филиал ВНИИПО МЧС России, 2013. 16 с.
6. ENV 13381-4:2002 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members - Part 4: Applied protection to steel members. Brussels: Management Centre, 2002. 78 p.

**ПРЕДЕЛЬНАЯ НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ  
И УСТОЙЧИВОСТЬ ЗАКРУЧИВАЕМЫХ  
КРУГЛЫХ СТЕРЖНЕЙ ИЗ  
РАЗУПРОЧНЯЮЩЕГОСЯ МАТЕРИАЛА**

*Стружанов В.В.*

Институт машиноведения УрО РАН, г. Екатеринбург,  
stru@imach.uran.ru

*Бердников К.В.*

Институт машиноведения УрО РАН, г. Екатеринбург,  
kir.berdnikov@mail.ru

*Коркин А.В.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

В расчетах на прочность критичных строительных инфраструктур, как правило, опираются на свойства материала, проявляемые им на стадии упрочнения. Однако после достижения предела прочности материал переходит в закритическое состояние, когда деформации растут, а напряжения падают. Но при этом конструкция может сохранять устойчивость и сопротивляться внешним нагрузкам [1]. Таким образом, у конструкции имеется еще запас прочности. Чтобы рассчитать истинную несущую способность необходимо производить расчет на устойчивость, принимая во внимание закритическое деформирование. А потеря устойчивости процесса деформирования и есть момент катастрофического разрушения [2].

В данной работе излагается итерационная процедура, позволяющая найти реальную несущую способность и момент потери устойчивости (разрушения) закручиваемых круглых стержней с учетом закритической стадии деформирования (разупрочнения) материала.

Рассмотрим стержень длины  $L$  с радиусом поперечного сечения  $R$ . Деформирование осуществляем квазистатически при неизменной температуре, задавая монотонно возрастающий крутящий момент  $M$ . Свойства материала определяет полная диаграмма деформирования  $\tau(\gamma)$  с падающей ветвью. ( $\tau$  – касательные напряжения,  $\gamma$  – сдвиговые деформации). Наклон диаграммы характеризует функция  $G^P(\gamma) = \frac{d\tau}{d\gamma}$  – касательный модуль сдвига. Если  $G^P > 0$ , то материал находится в состоянии упрочнения, если  $G^P < 0$ , то в состоянии разупрочнения. Деформация однозначно представляется суммой  $\gamma = \gamma^e + \gamma^P$ , где  $\gamma^e$ ,  $\gamma^P$  – соответственно упругая и неупругая составляющие полной сдвиговой деформации.

Разгрузка происходит по линейному закону с модулем  $G^u = \frac{\tau}{(\gamma - \gamma^P)}$ . Справедливо

соотношение  $\tau = G^u \gamma^e = G^u (\gamma - \gamma^P)$ , дифференциал от которого равен  $d\tau = dG^u (\gamma - \gamma^P) + G^u (d\gamma - d\gamma^P)$ . С другой стороны  $d\tau = G^P d\gamma$ . Приравнявая дифференциалы, находим, что

$$d(\gamma^P G^u) = d(\gamma G^u) - G^P d\gamma. \quad (1)$$

Интегрируя равенство (1), получаем выражение

$$\gamma^P = \gamma - \frac{1}{G^u(\gamma)} \int_0^\gamma G^P d\gamma,$$

определяющее кинетику роста неупругих деформаций сдвига.

При кручении единственной ненулевой компонентой тензора напряжений является касательное напряжение  $\tau$ , а деформации сдвига линейно распределены по радиусу

поперечного сечения (гипотеза плоских сечений [3]). Они тождественно удовлетворяют дифференциальным уравнениям равновесия и условиям совместности. Кроме того должно выполняться равенство

$$2\pi \int_0^R \tau r^2 dr = M, \quad (2)$$

играющее роль граничных условий и также статического уравнения равновесия. Используя соотношение для  $\tau$ , приведенное выше равенство (2) можно представить в виде

$$M = 2\pi \int_0^R G^u (\gamma - \gamma^p) r^2 dr = \frac{\Phi J^u}{L} - M^\Phi, \quad \left( \gamma = \frac{\Phi r}{L} \right) \quad (3)$$

где  $J^u = J^u(\Phi) = 2\pi \int_0^R G^u(\Phi, r) r^3 dr$  – жесткость упругого стержня с модулями  $G^u(\gamma)$  при кручении,  $M^\Phi = M^\Phi(\Phi) = 2\pi \int_0^R G^u(\Phi, r) \gamma^p(\Phi, r) r^2 dr$  – фиктивный закручивающий момент, определяемый касательными псевдонапряжениями  $\tau^* = G\gamma^p$ . Здесь  $G$  – модуль сдвига в упругости,  $\Phi$  – абсолютный угол закручивания.

Решение уравнения (3) ищем, применяя метод простой итерации. Имеем

$$\Phi_{n+1} = \frac{(M + M_n^\Phi)L}{J_n^u} = \psi(\Phi_n),$$

где величины  $J_n^u = J^u(\Phi_n)$ ,  $M_n^\Phi = M^\Phi(\Phi_n)$  подсчитаны для функций  $\gamma_n = \frac{r}{L}\Phi_n$ ,

$G^u = G_n^u(\Phi_n)$ ,  $\gamma_n^p = \gamma^p(\Phi_n)$ . Метод простой итерации сходится, если  $\sup \left| \frac{d\psi}{d\Phi} \right| < 1$  [4]. Здесь

функция  $\psi(\Phi) = \frac{(M + M^\Phi(\Phi))L}{J^u(\Phi)}$ , причём функции  $J^u(\Phi)$  и  $M^\Phi(\Phi)$  таковы, что разность  $\Phi J^u / L - M^\Phi = M = \text{const}$ , то есть функции  $J^u$  и  $M^\Phi$  изменяются, а указанная разность остается постоянной. Это утверждение справедливо потому, что на каждом итерационном шаге вычисляются параметры некоторого равновесия, отвечающие заданному моменту  $M$ , то есть в ходе итераций стержень как бы переходит из одного равновесия в другое, стремясь к положению реального равновесия.

Найдем производную от функции  $\psi(\Phi)$ . После необходимых преобразований имеем

$$\frac{d\psi}{d\Phi} = 1 - \frac{2\pi \int_0^R G^p(\gamma) r^3 dr}{2\pi \int_0^R G^u(\gamma) r^3 dr} = 1 - \frac{2\pi J^p}{J^u}.$$

Здесь величина  $J''$  всегда больше нуля, так как соответствующее подынтегральное выражение положительно. Поэтому процесс сходится, когда  $J^P > 0$   $\left(\frac{d\psi}{d\phi} < 1\right)$ , и расходится, когда  $J^P < 0$   $\left(\frac{d\psi}{d\phi} > 1\right)$ . Обращение интеграла  $J^P$  в нуль, очевидно, является необходимым условием для расходимости итерационного процесса. Покажем, что это условие является и достаточным. Вычислим интеграл  $J^P$  методом интегрирования по частям. Находим, что  $J^P = \frac{2\pi L}{3\phi} \left( \frac{3R^3}{2\pi} \tau(\eta) - M \right)$ .

Здесь  $\eta = \phi R/L$ . Ясно, что уравнение  $\frac{3R^3}{2\pi} \tau(\eta) - M = 0$  имеет только одно решение. Причём оно существует только тогда, когда в наиболее сдвинутых слоях стержня касательный сдвиговый модуль  $G^P < 0$  (в противном случае подынтегральное выражение положительно и  $J^P > 0$ ). Следовательно, если на каком-либо шаге итерационного процесса интеграл  $J^P$  обращается в нуль, то при последующих итерациях напряжение  $\tau(\eta)$  может разве лишь уменьшиться. Отсюда, на всех последующих итерациях интеграл  $J^P < 0$ . Таким образом, для начала расходимости итерационного процесса необходимо и достаточно обращения в нуль интеграла  $J^P$ .

Применяя на каждом шаге догружения изложенную выше итерационную схему, можно построить зависимость  $M(\phi)$ . Если вычислить производную

$$\frac{dM}{d\phi} = 2\pi \int_0^R \frac{d\tau}{d\gamma} \frac{\partial \gamma}{\partial \phi} r^2 dr = 2\pi \int_0^R G^P(r) \frac{r}{L} r^2 dr = \frac{2\pi}{L} \int_0^R G^P(r) r^3 dr = \frac{2\pi}{L} J^P,$$

то становится ясно, что в наивысшей точке диаграммы  $M(\phi)$  выполняется равенство  $J^P = 0$ . Таким образом, наивысшая точка зависимости  $M(\phi)$  и определяет предельную несущую способность закручиваемого стержня.

Для определения устойчивости равновесия стержня используем аппарат теории катастроф [5], опираясь на то, что каждый элемент находится в состоянии активного деформирования. В этом случае любой материал не отличим от нелинейно упругого материала и поэтому существует потенциал касательных напряжений в виде работы деформаций сдвига материального элемента, а именно  $F(\gamma) = \int_0^\gamma \tau(t) dt$ . Считая теперь



прикладываемый закручивающий момент  $M$  параметром управления, а угол закручивания  $\varphi$  стержня параметром состояния, запишем выражение для полной энергии

$$\Pi(M, \varphi) = 2\pi L \int_0^R F\left(\frac{\varphi r}{L}\right) r dr - \int_0^{\varphi} M d\varphi.$$

Критические точки функции  $\Pi$  определяют уравнение

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \varphi} = 2\pi \int_0^R \tau(r) r^2 dr - M = 0, \quad (4)$$

связывающее параметры управления и состояния в положениях равновесия стержня (устойчивых или неустойчивых). Вырожденные критические точки, в которых происходит смена типа равновесия, находятся из совместного решения уравнения (4) и уравнения

$$\frac{\partial^2 \Pi}{\partial \varphi^2} = 2\pi \int_0^R \frac{d\tau}{d\gamma} \frac{d\gamma}{d\varphi} r^2 dr = \frac{2\pi}{L} \int_0^R G^P r^3 dr = \frac{2\pi}{L} J^P = 0.$$

В начале процесса нагружения напряжённо-деформированное состояние стержня устойчиво. В каждой точке  $G^P > 0$  и интеграл  $J^P > 0$ . Поэтому, при постепенном возрастании крутящего момента согласно принципу промедления [5] стержень будет сохранять устойчивое равновесие до тех пор, пока интеграл  $J^P$  не обратится в нуль. В этот момент критическая точка, отвечающая данному положению равновесия, становится вырожденной и, следовательно, процесс нагружения стержня теряет устойчивость. Очевидно, что за этим следует его разрушение. При этом такое же условие ( $J^P = 0$ ) определяет и начало расходимости итерационного процесса. Таким образом, начало расходимости итераций совпадает с моментом потери устойчивости процесса деформирования стержня.

Отметим, что потеря устойчивости процесса нагружения реализуется тогда, когда величина крутящего момента превышает максимальное значение момента на диаграмме  $M \sim \varphi$ .

#### Библиографический список

1. Стружанов В.В., Миронов В.И. Деформационное разупрочнение материала в элементах конструкций. Екатеринбург: УрО РАН, 1995. 192 с.
2. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т.1. М.: Наука, 1970. 492 с.
3. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.: Наука, 1975. 576 с.
4. Люстерник Л.А., Соболев В.И. Элементы функционального анализа М.: Наука, 1965. 520 с.
5. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф. Кн. 1. М.: Мир, 1984. 350 с.

**ПРОБЛЕМЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ  
ОБРАБОТКИ ДАННЫХ УСТАЛОСТНЫХ  
ИСПЫТАНИЙ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

*Сызранцев В.Н.*

Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень,  
v\_syzrantsev@mail.ru

*Сызранцева К.В.*

Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень,

Несмотря на полуторавековую работу ученых по исследованию механических характеристик металла при циклически изменяющихся нагрузках (впервые систематическое изучение поведения металла цепей выполнил баварский инженер A.Z.Wöhler (А.Велер) в 1860 – 1870 гг. [1]), при решении задач оценки долговечности и прогнозирования с заданной вероятностью неразрушения остаточного ресурса изделий, подвергающихся в условиях эксплуатации воздействию случайного спектра нагрузок (в подавляющем большинстве случаев распределенных по неизвестному закону [2]), до настоящего времени единственной достоверной информацией об усталостных свойствах материала являются данные испытаний долговечности образцов (изделий) до разрушения, совокупность которых определяет кривую Велера (кривую усталости) [1, 3, 4]. Традиционный подход обработки результатов усталостных испытаний [3, 4] заключается в их представлении в полулогарифмических  $\lg N - \sigma$  или логарифмических  $\lg N - \lg \sigma$  координатах, где  $\sigma$  – действующее в образце напряжение,  $N$  – число циклов деформирования образца до разрушения, с целью описания кривой усталости линейной регрессионной моделью, параметры которой определяются с использованием метода наименьших квадратов (метода взвешенных наименьших квадратов) [3, 4].

Процедура линейного регрессионного анализа основана на предположении, что случайная величина  $\lg N$  подчиняется нормальному закону распределения. В этом случае устанавливаемая в процессе обработки данных усталостных испытаний линия регрессии, – кривая Велера, соответствует 50% вероятности разрушения образцов. Однако прогнозировать долговечность изделий с вероятностью неразрушения 50% бессмысленно, именно по этой причине для кривой усталости принципиальное значение имеет не ее регрессионная модель, а левые границы доверительных интервалов, например, соответствующие вероятности разрушения образцов 0.5–5%, расчет точек которых предполагает, что закон распределения случайной величины  $\lg N$  с точностью до параметров известен.

В работе рассмотрен пример обработки данных усталостных испытаний из стали 50 [5] при семи уровнях напряжений:  $\sigma_a = 350; 330; 310; 290; 280; 270; 260$  МПа (от 21 до 30 образцов на каждом уровне, общее число образцов  $n = 183$ ). Результаты проверки выборок  $\lg N$  при каждом  $\sigma_a = \text{const}$  на нормальность с помощью критериев согласия Смирнова, Андерсона-Дарлинга и Шапиро-Уилка представлены в табл. 1, из которой следует, что нулевую гипотезу с уровнем значимости  $\alpha = 0,05$  можно принять, лишь для уровней напряжений  $\sigma_a = 350, 330$  и  $310$  МПа. В остальных случаях гипотеза должна быть отброшена.

Таблица 1

## Проверка выборок на нормальность по различным критериям согласия

$\sigma_a$	350	330	310	290	280	270	260
Критерий Смирнова							
$\omega_p^2$	0,050	0,051	0,055	<b>0,145</b>	<b>0,171</b>	<b>0,190</b>	<b>0,205</b>
$W_{0,05}^2$	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126	0,126
Критерий Андерсона-Дарлинга							
$\omega_p^2$	0,285	0,296	0,287	0,675	<b>1,015</b>	<b>2,289</b>	<b>1,769</b>
$A_{0,05}$	0,787	0,787	0,787	0,787	0,787	0,787	0,787
Критерий Шапиро-Уилка							
$W$	0,963	0,968	0,959	<b>0,920</b>	<b>0,904</b>	<b>0,892</b>	0,944
$W_{0,05}$	0,920	0,920	0,908	0,927	0,924	0,920	0,920

Установленный факт, несмотря на достаточно представительный (для усталостных испытаний) объем экспериментальных данных, свидетельствует, что в данном примере корректность определения зависимости  $\sigma_a = \sigma_a(\log N)$  на основе линейного регрессионного анализа оказывается под вопросом. В докладе представлено решение этой задачи путем описания функции  $\sigma_a = \sigma_a(\log N)$  с помощью полуэмпирической модели накопления повреждений, разработанной в рамках кинетической теории усталости [6, 7, 8].

В работе для рассматриваемого примера оценены величины систематических погрешностей расчета границ доверительных интервалов вызванных неучетом фактических законов распределения чисел циклов до разрушения образцов, кривой усталости, выражение для которой методом линейного регрессионного анализа получено в виде:

$$\sigma_a = -49.564 \cdot \log N + 584.164 \quad (1)$$

Для количественной оценки систематических погрешностей прогнозирования числа циклов до разрушения образцов на основе границ доверительных интервалов кривой усталости в виде (1), необходимо иметь функции плотности распределения  $f_N(N)$  случайной величины  $N$ . На основании работ в области непараметрической статистики [2, 9, 10] неизвестная функция  $f_N(N)$  представлена в виде:

$$f_N(N) = \frac{1}{n \cdot h_N^* \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \sum_{i=1}^n \exp \left\{ -0,5 \cdot \left[ (N - N_i) / h_N^* \right]^2 \right\}, \quad (2)$$

где  $h_N^*$  - параметр «размытости» [2, 10].

Имея функцию  $f_N(N)$ , прогнозируемое до разрушения с заданной вероятностью  $R$  число циклов деформирования образцов  $N_R$ , устанавливается путем решения следующего интегрального уравнения относительно  $N_R$ :

$$\int_0^{N_R} f_N(N) dN = R. \quad (3)$$

В таблице 2 представлены результаты определения квантильных оценок  $N_{0,01}, N_{0,05}, N_{0,50}$  на основе линейного регрессионного анализа и аналогичных оценок  $N_{0,01}^*, N_{0,05}^*, N_{0,50}^*$ , полученных с учетом фактических законов распределения  $N$  при  $\sigma_a = const$ , восстановленных методами непараметрической статистики [2, 8].

Таблица 2

Результаты расчета квантильных оценок долговечности образцов

$\sigma_a$	$N_{0,01}^*$	$N_{0,01}$	$N_{0,05}^*$	$N_{0,05}$	$N_{0,50}^*$	$N_{0,50}$	$N$
350	$1,191 \cdot 10^4$	$3,461 \cdot 10^4$	$3,742 \cdot 10^4$	$4,849 \cdot 10^4$	$9,374 \cdot 10^4$	$9,834 \cdot 10^4$	$5,303 \cdot 10^4$
330	$1,874 \cdot 10^4$	$4,669 \cdot 10^4$	$5,748 \cdot 10^4$	$7,148 \cdot 10^4$	$1,826 \cdot 10^5$	$1,827 \cdot 10^5$	$1,343 \cdot 10^5$
310	$3,095 \cdot 10^4$	$6,514 \cdot 10^4$	$9,407 \cdot 10^4$	$1,097 \cdot 10^5$	$3,929 \cdot 10^5$	$3,654 \cdot 10^5$	$3,400 \cdot 10^5$
290	$5,475 \cdot 10^4$	$9,540 \cdot 10^4$	$1,707 \cdot 10^5$	$1,781 \cdot 10^5$	$9,979 \cdot 10^5$	$8,140 \cdot 10^5$	$8,611 \cdot 10^5$
280	$7,553 \cdot 10^4$	$1,186 \cdot 10^5$	$2,460 \cdot 10^5$	$2,338 \cdot 10^5$	$1,776 \cdot 10^6$	$1,291 \cdot 10^6$	$1,370 \cdot 10^6$
270	$1,079 \cdot 10^5$	$1,512 \cdot 10^5$	$3,872 \cdot 10^5$	$3,154 \cdot 10^5$	$3,670 \cdot 10^6$	$2,178 \cdot 10^6$	$2,181 \cdot 10^6$
260	$1,619 \cdot 10^5$	$2,004 \cdot 10^5$	$7,636 \cdot 10^5$	$4,422 \cdot 10^5$	$1,167 \cdot 10^7$	$4,045 \cdot 10^6$	$3,470 \cdot 10^6$

В последнем столбце табл. 2 приведены значения  $N$ , рассчитанные по формуле (1). Из таблицы 2 следует, что обработка данных усталостных испытаний с использованием линейного регрессионного анализа приводит к значительным по величине систематическим ошибкам прогнозирования долговечности образцов.

В результате проведенного анализа традиционно реализуемых подходов статистической обработки данных усталостных испытаний выделены следующие проблемы.

1. В случае, когда логнормальный закон распределения числа циклов деформирования образцов до разрушения при фиксированных уровнях напряжений с заданной величиной доверительной вероятности (уровнем значимости) по критериям согласия принят быть не может, результаты статистической обработки данных усталостных испытаний образцов на основе методов и алгоритмов линейного регрессионного анализа корректными не являются.

2. Использование для описания кривой Велера линейных регрессионных моделей, не отражающих физические процессы накопления усталостных повреждений при циклическом деформировании образцов, не позволяет формализовать процедуру расчета на основе экспериментальных данных предела выносливости и определить закон его распределения.

3. Числа циклов деформирования, рассчитанные по линейной регрессионной зависимости (кривая усталости в полулогарифмической системе координат при 50%

вероятности неразрушения), в результате смещения оценок модели вследствие логарифмирования, этой вероятности неразрушения (50%) не соответствуют. Возникающие при этом систематические ошибки прогнозирования числа циклов, как в сторону увеличения долговечности, так и в сторону ее уменьшения, в рамках классических методов статистической обработки экспериментальных данных оценены быть не могут.

4. На примере обработки конкретных экспериментальных данных с использованием методов непараметрической статистики показано, что величина систематических ошибок, вносимых применением метода линейного регрессионного анализа, при определении границ доверительных интервалов кривой усталости, по числу циклов прогнозирования долговечности образцов с заданной вероятностью не разрушения, достигает не только десятков процентов, но и может превышать 100% и более процентов.

#### **Библиографический список**

1. Поведение стали при циклических нагрузках. Под ред. проф. В.Даля. Пер. с нем. Под ред. В.Н.Геминова. М.: Металлургия, 1982. 568 с.
2. Сызранцев В.Н. Оценка безопасности и прочностной надежности магистральных трубопроводов методами непараметрической статистики / В.Н.Сызранцев, В.В.Новоселов, П.М.Созонов, С.Л.Голофаст. Новосибирск: Наука, 2013. 172 с.
3. Степнов М.Н. Вероятностные методы оценки характеристик механических свойств материалов и несущей способности элементов конструкций / М.Н.Степнов. Новосибирск: Наука, 2005. 342 с.
4. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В.; Отв. ред. Писаренко Г.С. – 2-е изд., переработ. и доп. К.: Наукова думка, 1988. 736 с.
5. Поляков Б. Усталостные свойства материала крупногабаритных сталей // НМ-оборудование. – 2005. - №2.- С.17-23
6. Почтенный Е.К. Прогнозирование долговечности и диагностика усталости машин.- Минск: Наука и техника, 1983.246с
7. Syzrantsev V. N., Syzrantseva K.V., Chernaya L. A. Calculation of the Strength Reliability of Parts under Random Loading. Global Journal of Researches in Engineering: G Industrial Engineering. United States of America. Volume 14 Issue 5 Version 1.0 Year 2014. P.11-17.
8. Syzrantsev V.N. Syzrantseva K.V., Ilinykh V.N. Processing of low-cycle fatigue tests data on a base of kinetic fatigue theory. International Journal of Engineering and Applied Sciences. Islamabad, Pakistan. 2015, April, vol.6, no.4, p.7-10.
9. Орлов А.И. Прикладная статистика. – М.: Экзамен, 2006. 671 с.
10. Сызранцев В.Н. Расчет прочностной надежности изделий на основе методов непараметрической статистики / В.Н.Сызранцев, С.Л.Голофаст, Я.П.Невелев. Новосибирск:- Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 2008. 216 с.

**II Международная конференция  
«Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур»**

**ИНФРАНЕТИКА – НОВАЯ  
КОНВЕРГЕНТНАЯ НАУКА 21-ГО ВЕКА**

*Тимашев С.А.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
Научно инженерный центр «Надежность и ресурс больших систем машин»  
УрО РАН  
TimashevS@gmail.ru

**26-27 июня 2016 года,  
Екатеринбург, Россия**



Под конвергенцией технологий понимается интеграция различных дисциплин в ходе реализации научной и исследовательской деятельности. Одной из самых распространенных концепций в области основных конвергентных технологий является так называемый НБИК-подход. Под НБИК-конвергентной технологией (КТ) понимается процесс и взаимопроникновение четырех групп технологий: нано-, био, инфо- и когнитивных. В России добавили еще одну компоненту – социально-гуманитарные технологии (НБИКС-технологии). Эти быстро развивающиеся отрасли науки и технологии с высоким экономическим потенциалом практического применения.

НБИКС-технологии призваны ответить на все вызовы современного развития Российского общества. Среди них существует отдельная группа вызовов – необходимость комплексного инфраструктурного обновления освоенных территорий, прежде всего, городов. Необходимо найти эффективные решения по реструктуризации инфраструктурной основы не только энергетической, но и транспортной, сектора городского хозяйства, строительного сектора, а также основных производственных фондов, сетей логистики и др. Кроме того, требуется разработка качественно новой индустрии сохранения и воспроизводства здоровья человека, создания высокоорганизованной жизненной среды. По мнению автора, эта группа вызовов требует своей особой конвергентной технологии, тем более, что в инженерных науках своего рода стихийная конвергенция возникла по необходимости на много раньше, чем это было осознанно в естественных науках. В связи с изложенным представляется необходимым выработать концепцию конвергентных технологий, которая бы наилучшим образом соответствовала решению проблемы инфраструктур. Основой конвергенции наук и технологий применительно к инженерным наукам в целом и междисциплинарной проблеме взаимозависимых критических инфраструктур в частности, могут в разной степени стать современные комплексные технологии проектирования и возведения всякого рода объектов инфраструктуры, инфо-, нано- технологии, искусственный интеллект, когнитивные науки и социально-гуманитарные технологии. При этом можно, в первом приближении, выделить следующие основные черты современного развития теории инфраструктур:

- междисциплинарный подход вместо узких специализаций;
- изменение парадигмы от анализа к синтезу (в частности, при переработке больших объемов исходных данных);
- использование современных методов механики проектирования и разрушения;
- переход к нано-размерам (в задачах диагностики, мониторинга, защиты от кибератак).

Выше изложенные позволяет предложить, как вариант, следующую аббревиатуру для конвергентной технологии, которая призвана холистическим образом решать проблему

оптимального функционирования второй природы планеты: МІАС-технологии (Mechanics, Information theory, Artificial Intelligence, Cognitive Science).

Необходимость каким-то образом выделить новый круг задач, вызванный бурным ростом новых типов и видов инфраструктур и осознанию их роли в устойчивом развитии современного общества риска, привело к появлению концепции новой синтетической дисциплины, которую называли инфраномика. Инфраномика есть набор дисциплин, поддерживающих анализ и процесс принятия решения относительно мета-системы (т.е. всей суммы технических компонент, лиц заинтересованных в финансовом успехе предприятия, образа мыслей, юридических ограничений и т.д.), составляющих множество инфраструктур.

Инфраномика суть множество теорий, предположений, моделей, методов, и ассоциированных научных и технических инструментов, которые требуются для исследования концепций, проектирования, развития, применения, эксплуатации, руководства, мейнтенанса, снабжения, и живучести мета-систем. Поскольку ни одна из существующих дисциплин не может дать необходимого решения, инфраномика будет дисциплина дисциплин, группирующая все знание, необходимое для решения проблемы критических инфраструктур. Термин инфраномика и его трактовку предложил в 2007 году проф. А. Георги, ведущий специалист в области критичных инфраструктур, для описания многопрофильной, междисциплинарной дисциплины призванной решать проблему критичных инфраструктур. Инфраномика является критичной дисциплиной 21-го века.

Из приведенного выше определения видно, что под зонтик новой дисциплины предлагается включить все знания, которые когда-либо могут понадобиться при решении задачи критичных инфраструктур, без указания на их реальную связь между собой. Проводя дальнюю аналогию, можно сказать, что инфраномика как термин – что-то вроде древней географии времен Страбона, как универсальная наука, которая тогда включала в себя практически все знания, которые к тому времени накопили древние греки, египтяне и ассирийцы о планете. Постепенно из нее отпочковались геодезия, геология, геофизика, геохимия, геоэкология, геогигиена, геоканцерология, геополитика.

По этой аналогии можно отпочковать от инфраномики новую дисциплину – инфранетику – от слов ИНФРАструктуры + киберНЕТИКА. Это название понятно, если принять во внимание, что она решает главную задачу теории инфраструктур количественно, с позиций механики (в том числе, для оценки вероятности инициирующего аварии события и последствий отказа самой инфраструктуры). Сама главная (центральная) задача в докладе формулируется следующим образом:

В условиях, когда способность общества предотвратить гибель людей конечна и ограничена его способностью создавать общественное богатство, центральной проблемой

управления величиной оцененного потенциально-возможного ущерба (риска) становится оптимизация распределения (объема, места и времени приложения) ограниченных ресурсов на нужды безопасности, что эквивалентно уменьшению последствий аварий и катастроф за счет применения оптимального предсказательного мейнтенанса взаимозависимых инфраструктур, а также средств защиты от вновь возникающих, в том числе, климатических, угроз.

**ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ  
ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА  
ОСТАТОЧНЫЙ РЕСУРС И БЕЗОПАСНОСТЬ  
ТРУБОПРОВОДОВ**

*Тимашев С.А.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
Научно инженерный центр «Надежность и ресурс больших систем машин»  
УрО РАН  
TimashevS@gmail.ru

*Бушинская А.В.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
Научно инженерный центр «Надежность и ресурс больших систем машин»  
УрО РАН

## Введение

В работе представлен метод оценки влияния человеческого фактора (ЧФ) на вероятность отказа (ВО) и остаточный ресурс магистральных трубопроводов с поверхностными коррозионными дефектами. Метод использует международные методики оценки остаточной прочности: B31G [1], B31Gmod [3], Battelle [4] и Shell92 [5].

Практические методики [1], [3], [4] и [5] являются расчетно-экспериментальными. Суть их сводится [6] к расчетной оценке величины разрушающего давления дефектного участка трубопровода по формулам, полученным из линейных соотношений теории сопротивления материалов путем введения в них эмпирических коэффициентов, учитывающих физическую нелинейность материала труб. К данным коэффициентам, полученным в ходе анализа результатов большого числа натурных испытаний отрезков труб, относятся:

- «коэффициент Фолиаса» (Folias factor) – коэффициент, связывающий параметры дефекта с геометрией трубы;
- «напряжение текучести» (flow stress) – напряжение, необходимое, чтобы вызвать пластическую деформацию в металле (эффективный предел текучести, параметр, учитывающий эффект упрочнения металла под влиянием нагрузки).

Давление разрушения дефектного участка трубопровода в рассматриваемый момент времени  $t$ :

$$P_f = \frac{2wt \cdot \sigma_f}{D} \cdot \frac{1 - \frac{d}{wt}}{1 - \frac{d}{wt \cdot M}}, \quad (1)$$

где  $D$  – внешний диаметр трубопровода;  $M$  – коэффициент Фолиаса, выражающийся через экспоненту и длину дефекта  $l$ ;  $\sigma_f$  – напряжения текучести;  $d$  – максимальная глубина дефекта;  $wt$  – толщина стенки трубы.

Выражение (1) для каждой отдельной методики (B31G, B31Gmod, Shell92, или DNV) будет меняться в зависимости от выражения коэффициента Фолиаса  $M$ , напряжения текучести  $\sigma_f$  и геометрической формы, с помощью которой аппроксимируется дефект.

Уравнение (1) для каждой отдельной методики отличается величиной напряжения течения. Упомянутые выше методики разделяются на два типа: SMYS-основанные и UTS-основанные, т.е. использующие в качестве напряжения течения либо UTS, либо SMYS:

$$P_f = \frac{2wt \cdot SMYF}{D} \cdot \frac{\left(1 - \frac{d}{wt}\right)}{\left(1 - \frac{d}{wt \cdot M}\right)} \quad \text{или} \quad P_f = \frac{2wt \cdot UTS}{D} \cdot \frac{\left(1 - \frac{d}{wt}\right)}{\left(1 - \frac{d}{wt \cdot M}\right)}, \quad (2)$$

где  $SMYS$ ,  $UTS$  – минимальный предел текучести и прочности материала трубы соответственно.

Рассмотрим случай, когда ЧФ заключается в допущении ошибки при вводе значений исходных параметров в уравнения (2). Пусть ошибка допущена в одном из параметров. В этом случае математическую модель введенного параметра можно записать в виде:

$$p = p^* + \varepsilon_p,$$

где  $p$  – введенное значение исходного параметра;  $p^*$  – истинное (фиксированное) значение параметра;  $\varepsilon_p$  – случайная погрешность, т.е. ошибка ввода, в нашем случае ЧФ.

Предполагается, что случайные ошибки ввода  $\varepsilon_p$  распределены нормально с математическим ожиданием равным нулю и дисперсией  $\sigma_p^2$ . Таким образом, введенное значение рассматривается как случайная величина (СВ) и следовательно давление разрушения  $P_f$  будет также случайной величиной.

#### **Вероятностная оценка влияния человеческого фактора на безопасность**

На данном этапе исследований рассмотрим когда ошибка ввода была допущена только в двух параметрах: толщине стенки трубы и  $SMYS$  ( $UTS$ ). Остальные параметры считаем фиксированными (т.е. они не имеют ошибок ввода). Перепишем уравнения (2) в эквивалентном виде:

$$P_f = \frac{2wt \cdot SMYF}{D} \frac{(wt - d)}{(wt - d / M)} \quad \text{или} \quad P_f = \frac{2wt \cdot UTS}{D} \frac{(wt - d)}{(wt - d / M)}.$$

Рассмотрим величину  $V = \frac{(wt - d)}{(wt - d / M)}$ . Так как величина  $wt$  в числителе и знаменателе имеет одинаковое значение, то очевидно, что величина  $V$  будет константой (одна и та же СВ в числителе будет сдвинута влево на величину  $d$ , в знаменателе – на величину  $d/M$ ).

Тогда имеем

$$P_f = \frac{2V \cdot wt \cdot SMYF}{D} \quad \text{или} \quad P_f = \frac{2V \cdot wt \cdot UTS}{D}.$$

Обозначая константу  $2V/D$  через  $C$ , получим

$$P_f = C \cdot wt \cdot SMYF \quad \text{или} \quad P_f = C \cdot wt \cdot UTS. \quad (3)$$

Для оценки вероятности отказа трубы найдем функцию плотности вероятности (ФПВ) случайной величины (СВ) – давления разрушения. Согласно уравнениям (3) необходимо найти ФПВ произведения двух нормально распределенных величин: толщины стенки трубы и предела текучести/прочности материала трубы. То есть будем рассматривать СВ  $U$ :

$$U = wt \cdot SMYS \quad \text{или} \quad U = wt \cdot UTS. \quad (4)$$

Обозначим  $wt = X$ ,  $SMYS(UTS) = Y$ . Тогда формулы (3) перепишутся в виде:

$$U = XY. \quad (5)$$

Согласно [7, 8], ФПВ произведения двух нормально распределенных *центрированных* СВ выражается через модифицированную функцию Бесселя второго рода нулевого порядка (также известную как функция Макдональда):

$$f_U(u) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{\frac{-x^2}{2\sigma_X^2}}}{\sqrt{2\pi}\sigma_X} \frac{e^{\frac{-y^2}{2\sigma_Y^2}}}{\sqrt{2\pi}\sigma_Y} \delta(xy - u) dx dy = \frac{1}{\pi\sigma_X\sigma_Y} K_0\left(\frac{|u|}{\sigma_X\sigma_Y}\right), \quad (6)$$

где  $\sigma_X^2, \sigma_Y^2$  – дисперсия СВ  $X$  и  $Y$  соответственно,  $K_0(z)$  – модифицированная функция Бесселя второго рода нулевого порядка.

Так как формула (6) применима только для центрированных СВ, то необходимо обобщить данный частный случай на нецентрированные СВ  $X$  и  $Y$ .

Согласно свойствам ФПВ, связь между ФПВ  $f_{Z^*}(z)$  центрированной СВ  $Z^*$  и ФПВ  $f_Z(z)$  исходной (нецентрированной) СВ  $Z$  определяется выражением:

$$f_{Z^*}(z) = f_Z(z + m), \quad (7)$$

где  $m$  – математическое ожидание СВ  $Z$ .

То есть переход от ФПВ центрированной величины производится путем сдвига этой ФПВ вдоль оси абсцисс вправо на величину математического ожидания при ее положительном значении. Так как в нашем случае переменная находится под знаком модуля, то ФПВ (7) примет вид:

$$f_U(u) = \frac{1}{\pi\sigma_X\sigma_Y} K_0\left(\frac{|u - m_U|}{\sigma_X\sigma_Y}\right), \quad (8)$$

где  $m_U$  – математическое ожидание СВ  $U$ , которое, согласно свойствам математического ожидания произведения двух независимых СВ, вычисляется по формуле

$$m_U = m_X m_Y, \quad (9)$$

где  $m_X, m_Y$  – математическое ожидание СВ  $X$  и  $Y$  соответственно.

Согласно свойствам дисперсии произведения двух независимых СВ, дисперсия СВ  $U$  равна

$$\sigma_U^2 = \sigma_X^2 \sigma_Y^2 + m_X^2 \sigma_Y^2 + m_Y^2 \sigma_X^2. \quad (10)$$

Для центрированных величин  $X$  и  $Y$  эта формула принимает вид  $\sigma_U^2 = \sigma_X^2 \sigma_Y^2$ . Таким образом, нетрудно, доказать, что ФПВ произведения двух нецентрированных нормально распределенных СВ будет иметь вид

$$f_U(u) = \frac{1}{\pi\sigma_U} K_0 \left( \frac{|u - m_U|}{\sigma_U} \right). \quad (11)$$

где среднеквадратическое отклонение (СКО)  $\sigma_U$  СВ  $U$  вычисляется из формулы (10).

Тогда интегральная функция распределения СВ  $U$  определяется формулой

$$F_U(u) = \int_{-\infty}^u f_U(t) dt = \int_{-\infty}^u \frac{1}{\pi\sigma_U} K_0 \left( \frac{|t - m_U|}{\sigma_U} \right) dt. \quad (12)$$

Так как давление разрушения связано с СВ  $U$  соотношением  $P_f = C \cdot U$ , то статистические параметры, ФПВ и интегральная функция распределения (ИФР) давления разрушения примут вид:

$$\begin{aligned} m_{P_f} &= C m_X m_Y, \\ \sigma_{P_f} &= C^2 \sqrt{\sigma_X^2 \sigma_Y^2 + m_X^2 \sigma_Y^2 + m_Y^2 \sigma_X^2}, \\ f_{P_f}(t) &= \frac{1}{\pi\sigma_{P_f}} K_0 \left( \frac{|t - m_{P_f}|}{\sigma_{P_f}} \right) \\ F_{P_f}(z) &= \int_{-\infty}^z f_{P_f}(t) dt = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\pi\sigma_{P_f}} K_0 \left( \frac{|t - m_{P_f}|}{\sigma_{P_f}} \right) dt. \end{aligned} \quad (13)$$

Таким образом, зная функцию распределения давления разрушения трубы, можно оценить ее ВО, то есть вероятность того, что давление разрушения будет меньше рабочего давления  $P_d$ :

$$F_{P_f}(P_d) = P(P_f < P_d) = \int_{-\infty}^{P_d} \frac{1}{\pi\sigma_{P_f}} K_0 \left( \frac{|t - m_{P_f}|}{\sigma_{P_f}} \right) dt. \quad (14)$$

Данное решение поставленной задачи выполнено в предположении, что рабочее давление  $P_{op}$  в трубопроводе является детерминированной величиной. Однако на практике рабочее давление также является случайной величиной.

Для оценки вероятности отказа идеальной трубы с учетом того, что рабочее давление является случайной величиной, рассмотрим функцию предельного состояния (ФПС):

$$LSF = P_f - P_{op}. \quad (15)$$

Найдем ФПВ предельного состояния как случайной величины  $LSF$ . Так как  $LSF$  является разностью двух СВ, то согласно [9] ее плотность распределения определяется по формуле сверки:

$$f_{LSF}(z) = \int_{-\infty}^{\infty} f_{P_f}(z + y) f_{P_{op}}(y) dy, \quad (16)$$



где  $f_{P_f}(z), f_{P_{op}}(z)$  - ФПВ давления разрушения и рабочего давления соответственно.

Тогда ИФР СВ  $LSF$  определяется формулой:

$$F_{LSF}(z) = \int_{-\infty}^z f_{LSF}(t) dt = \int_{-\infty}^z \int_{-\infty}^{\infty} f_{P_f}(t+y) f_{P_{op}}(y) dy dt. \quad (17)$$

Согласно рекомендациям [10], отношение между рабочим и проектным давлением описывается бета-распределением (СВ принимает значения от 0 до 1). Так как проектное давление является детерминированной величиной, то необходимо определить распределение рабочего давления в трубопроводе. Для этого используем обобщенное бета-распределение, которое описывает случайную величину [11]:

$$Y = P_d X, \quad (18)$$

где СВ  $X$  – отношение рабочего давления  $P_{op}$  к проектному давлению  $P_d$  трубопровода, имеющее классическое бета-распределение.

Таким образом, СВ  $Y$  представляет собой рабочее давление  $P_{op}$  в трубопроводе.

Согласно [11], параметры классического бета-распределения СВ  $X$  можно вычислить по формулам:

$$\begin{aligned} a &= m_X \left( \frac{m_X(1-m_X)}{\sigma_X^2} - 1 \right); \\ b &= (1-m_X) \frac{a}{m_X}; \end{aligned} \quad (19)$$

где  $m_X, \sigma_X^2$  – математическое ожидание и дисперсия СВ  $X$ .

Для величины  $Y$  ФПВ имеет вид [11]:

$$f(y) = \frac{y^{a-1} (P_d - y)^{b-1}}{B(a, b) P_d^{a+b-1}}, \quad (20)$$

где  $B(a, b)$  – бета-функция. В обобщенном бета-распределении величина  $P_d$  является верхней границей изменения СВ  $Y$  (рабочего давления), то есть, СВ  $Y$  изменяется от 0 до  $P_d$ .

Математическое ожидание и дисперсия СВ  $Y$  определяются по формулам [11]:

$$\begin{aligned} m_Y &= \frac{a P_d}{a+b}; \\ \sigma_Y^2 &= \frac{ab P_d^2}{(a+b)^2 (a+b+1)}. \end{aligned} \quad (21)$$

Таким образом, формулы (16), (17) примут вид:

$$f_{LSF}(z) = \int_0^{P_d} \frac{1}{\pi \sigma_{P_f}} K_0 \left( \frac{|z+y-m_{P_f}|}{\sigma_{P_f}} \right) \frac{y^{a-1} (P_d - y)^{b-1}}{B(a, b) P_d^{a+b-1}} dy,$$

$$F_{LSF}(z) = \int_{-\infty}^z \int_0^{P_d} \frac{1}{\pi \sigma_{P_f}} K_0 \left( \frac{|t + y - m_{P_f}|}{\sigma_{P_f}} \right) \frac{y^{a-1} (P_d - y)^{b-1}}{B(a, b) P_d^{a+b-1}} dy dt. \quad (22)$$

Тогда, зная функцию распределения СВ  $LSF$ , можно оценить вероятность отказа трубы, то есть вероятность того, что  $LSF < 0$  при существующих ошибках ввода двух параметров:

$$F_{LSF}(0) = \int_{-\infty}^0 \int_0^{P_d} \frac{1}{\pi \sigma_{P_f}} K_0 \left( \frac{|t + y - m_{P_f}|}{\sigma_{P_f}} \right) \frac{y^{a-1} (P_d - y)^{b-1}}{B(a, b) P_d^{a+b-1}} dy dt. \quad (23)$$

где параметры  $a, b$  вычисляются по формулам (19), параметры  $m_{P_f}, \sigma_{P_f}$  - по формулам (13).

При заданных параметрах распределения ошибок ввода толщины стенки трубы и SMYS (UTS), варьируя величину  $C$ , которая зависит от размеров дефектов (глубины и длины), по формуле (23) можно оценить вероятностное влияние ЧФ. Таким образом, будет получено распределение значений вероятностей отказа в зависимости от размеров дефектов.

#### **Вероятностная оценка влияния человеческого фактора на гамма-процентный остаточный ресурс**

Согласно руководящим документам [12] и [13], при оценке гамма-процентного остаточного ресурса (ГПОР) потенциально опасных объектов, поднадзорных Ростехнадзору, необходимо принимать значение  $\gamma \geq 90\%$ . Поэтому в качестве  $\gamma$  возьмем минимальное значение, равное 90%.

Для решения поставленной задачи необходимо оценить время до момента отказа, т.е. до момента времени  $t_\gamma$  при котором давление разрешения  $P_f(t_\gamma) \leq P_{op}$  с вероятностью  $\gamma$ , где  $P_{op}$  – рабочее давление в трубопроводе.

По формуле (14) можно оценить вероятность того, что давление разрушения будет меньше рабочего давления  $P_{op}$ . Таким образом, чтобы можно оценить время  $t_\gamma$  необходимо численно решить относительно времени  $t_\gamma$  следующее уравнение:

$$t_\gamma : F_{P_f}(P_{op}) - \gamma = 0. \quad (24)$$

Функция  $F_{P_f}(P_{op})$ , вычисляемая по формуле (14), зависит от времени  $t$  через размеры дефектов, которые входят в параметр  $C$ . Обычно предполагается линейная зависимость размеров дефектов от времени.

Формула (24) позволяет оценить гамма-процентный остаточный ресурс единичного дефектного сечения трубопровода, т.е. время, в течение которого дефект не достигнет предельного состояния по отказу типа «разрыв» с вероятностью  $\gamma$ , заданной в процентах:

$$t_{\gamma} : F_{P_f}(P_{op}) = 1 - \frac{\gamma}{100}. \quad (25)$$

Как и в предыдущем случае при заданных параметрах распределения ошибок ввода, варьируя величину  $C$ , по формуле (25) можно оценить вероятностное влияние ЧФ. Таким образом, будет получено распределение значений ГПОР в зависимости от размеров дефектов.

### Выводы

Разработан аналитический метод вероятностной оценки влияния человеческого фактора (ошибок ввода исходных параметров) на вероятность отказа и остаточный ресурс магистральных трубопроводов с поверхностными коррозионными дефектами.

### Библиографический список

1. ANSI/ASME B31G-1991. Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines. National Standard of USA. – New York: ASME. – 1991. – 140 p.
2. CAN3-Z183-M86. Oil Pipeline System. National Standard of Canada. – Ontario: CSA, 178 Rexdale Blvd., September, 1986. – 185 p.
3. Kiefner, J.F. A Modified Criterion for Evaluating the Remaining Strength of Corroded Pipe [Text] / J.F. Kiefner, P.H. Vieth // AGA Pipeline Research Committee. Report PR 3-805. – 1989. – 78 p.
4. Ritchie, D. Burst Criteria of Corroded Pipelines - Defect Acceptance Criteria [Text] / D. Ritchie, S. Last // Proceedings of the EPRG/PRC 10th Biennial Joint Technical Meeting on Line Pipe Research. – Cambridge, UK. – 1995.
5. Stephens, D.R. Development of an Alternative Criterion for Residual Strength of Corrosion Defects in Moderate to High-Toughness Pipe [Text] / D.R. Stephens, B.N. Leis. // Proceedings of the Third International Pipeline Conference. – Calgary, Canada, American Society of Mechanical Engineers. – 2000. – P. 781-792.
6. Селезнев, В.Е. Методы и технологии численного моделирования газопроводных систем [Текст] / В.Е. Селезнев, В.В. Алешин, Г.С. Клишин. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 448 с.
7. MathWorld -- A Wolfram Web Resource. <http://mathworld.wolfram.com/NormalProductDistribution.html>
8. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники, Москва. Радио и связь. 1989, 656 с.
9. Венцель Е.С. Теория вероятностей. Москва. Наука. 1969. 576 с.
10. C-FER Project No. L128. Reliability-based Design and Assessment of Onshore Natural Gas Transmission Pipelines. A Proposed Standard. 2005.
11. Вадзинский Р.Н. Статистические вычисления в среде Excel. Библиотека пользователя. Санкт-Петербург. Питер. 2008. 608 с.
12. РД 03-421-01. Методические указания по проведению диагностирования технического состояния и определению остаточного срока службы сосудов и аппаратов [Текст]. – Утв. 2001-09-06. – М.: Госгортехнадзор России, 2001. – 131 с.
13. РД 09-102-95. Методические указания по определению остаточного ресурса потенциально опасных объектов, поднадзорных Госгортехнадзору России [Текст]. – Утв. 1995-10-17. – М.: Госгортехнадзор России, 1995. – 14 с.

**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ МИНИМАЛЬНОГО  
НЕОБХОДИМОГО ЧИСЛА ДЕФЕКТОВ,  
ОБНАРУЖЕННЫХ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ  
ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ**

*Тимашев С.А.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
Научно инженерный центр «Надежность и ресурс больших систем машин»  
УрО РАН  
TimashevS@gmail.ru

*Бушинская А.В.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
Научно инженерный центр «Надежность и ресурс больших систем машин»  
УрО РАН

## Введение

Диагностирование технического состояния линейной части трубопроводных систем (ТС) производится с использованием внутритрубных диагностических приборов-дефектоскопов. Далее будем называть их внутритрубными инструментами (ВТИ).

После проведения внутритрубной диагностики (ВТД) небольшую часть обнаруженных дефектов верифицируют, т.е. проводят вторичное измерение обнаруженных дефектов вторым, как правило, более точным верификационным инструментом. Результаты измерений параметров дефектов представляют собой приближенные оценки их истинных значений.

В данной работе рассматриваются методы оценки минимального необходимого числа обнаруженных при диагностике дефектов для проведения состоятельного статистического анализа результатов ВТД. Эти методы можно применять к оценке минимального числа дефектов для проведения состоятельной верификации.

## Подход, основанный на центральной предельной теореме

Пусть имеется выборка размером  $n > 30$  одинаково распределенных случайных величин  $x_i$ . Для заданной доверительной вероятности  $p = 1 - \alpha$  определим доверительный интервал для математического ожидания  $\mu$ , в качестве оценки которого используется среднее арифметическое  $m$ .

Закон распределения оценки математического ожидания близок к нормальному, так как распределение суммы независимых случайных величин с конечной дисперсией асимптотически нормально. Выражение для доверительной вероятности имеет вид

$$P(|m - \mu| \leq \varepsilon) = 1 - \alpha,$$

где  $\varepsilon$  – статистическая точность;  $\alpha = 1 - p$  – уровень значимости.

Так как СВ  $x_i$  распределены одинаково с дисперсией  $\sigma^2$ , а параметр  $m$  равен среднему арифметическому одинаково распределенных случайных величин, то его дисперсия равна

$$D(m) = D\left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}\right) = \frac{\sum_{i=1}^n D(x_i)}{n^2} = \frac{n\sigma^2}{n^2} = \frac{\sigma^2}{n}. \quad (1)$$

Если в выражении (1) перейти к нормированным величинам, то для стандартизированной СВ  $z = \frac{m - \mu}{\sqrt{\sigma^2/n}}$  имеем

$$P(|z| \leq \frac{\varepsilon}{\sqrt{\sigma^2/n}}) = \Phi\left(\frac{\varepsilon}{\sqrt{\sigma^2/n}}\right) - \Phi\left(-\frac{\varepsilon}{\sqrt{\sigma^2/n}}\right) = 2\Phi\left(\frac{\varepsilon}{\sqrt{\sigma^2/n}}\right) - 1 = 1 - \alpha.$$

Из этой формулы следует, что выражение  $\varepsilon/\sqrt{\sigma^2/n}$  является квантилью  $u_{1-\alpha/2}$  стандартного нормального распределения уровня  $1 - \alpha/2$ :

$$\frac{n\varepsilon^2}{\sigma^2} = u_{1-\alpha/2}^2.$$

Тогда необходимый объем выборки для получения оценки математического ожидания с заданной надежностью и требуемой точностью (погрешностью) вычисляется по формуле

$$n = \left[ \frac{u_{1-\alpha/2}\sigma}{\varepsilon} \right]^2,$$

полученной в предположении, что размер выборки достаточно велик, т.е.  $n \geq 30$ .

#### Подход, основанный на биномиальном распределении

Данный подход используется при неизвестном истинном значении дисперсии  $\sigma^2$ . Пусть  $k$  – число "успехов" в последовательности из  $n$  испытаний – имеет биномиальное распределение с вероятностью "успеха"  $p$ , и выполняются условия:  $0,05 < p < 0,95$ ,  $np > 4$  и  $n(1-p) > 4$ . Тогда из локальной теоремы Муавра-Лапласа (следствие из ЦПТ) следует, что статистическая точность  $\varepsilon$  вычисляется по формуле

$$\varepsilon = u_{1-\alpha/2} \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}.$$

Следовательно, необходимый объем выборки для достижения заданной точности  $\varepsilon$  равен

$$n = p(1-p) \left[ \frac{u_{1-\alpha/2}}{\varepsilon} \right]^2.$$

Так как значение  $p(1-p)$  ограничено сверху,  $p(1-p) < \frac{1}{4}$ , можно получить более консервативную и робастную оценку размера выборки:

$$n = \frac{1}{4} \left[ \frac{u_{1-\alpha/2}}{\varepsilon} \right]^2.$$

При разных значениях  $\varepsilon$  (выборочная частота "успешных" измерений не отклоняется от своего истинного значения более чем на  $\varepsilon$ ) зависимость объема выборки от значения вероятности  $p = 100(1-\alpha)\%$  при разных значениях уровня значимости  $\alpha$  показана на рис. 1. Видно, что для вероятности "успеха"  $p = 80\%$  и  $\varepsilon = 0.1$  (10%), используемых обычно при оценке качества измерений размеров параметров дефектов труб, минимальный объем выборки равен 41 дефекту, а при  $\varepsilon = 0.05$  (5%) требуется уже 164 измерений.

### Подход, основанный на распределении $\chi^2$

Обозначим через  $s^2$  исправленную выборочную дисперсию случайных нормально распределенных величин  $x_i, i=1, \dots, n$ , а  $\sigma^2$  – истинное (но неизвестное) значение их дисперсии.

Согласно теореме Фишера для нормальных выборок, величина  $Y = \frac{(n-1)s^2}{\sigma^2}$  будет иметь распределение  $\chi^2$  с  $(n-1)$  степенями свободы.

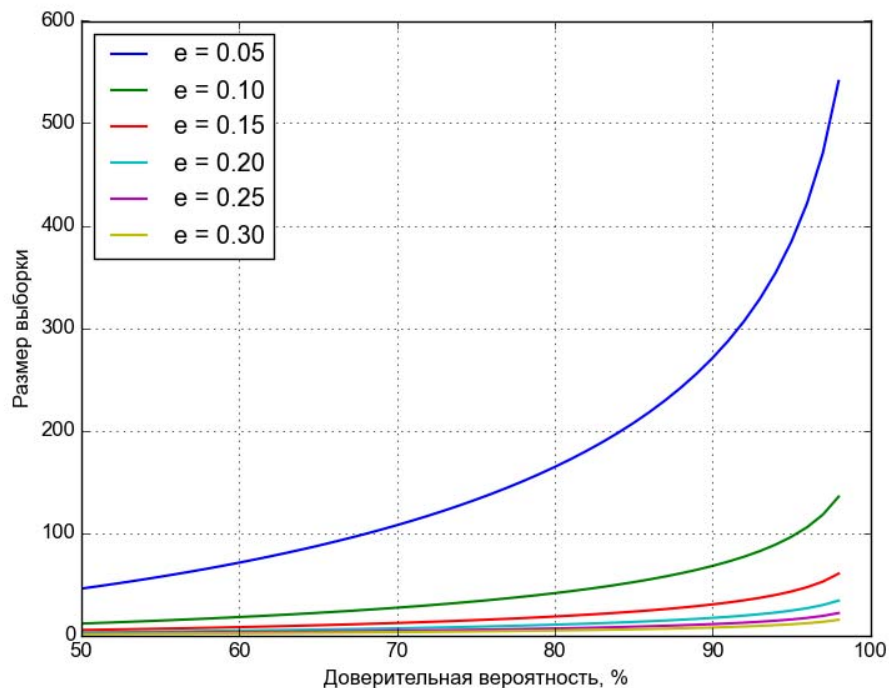


Рис. 1. Зависимость размера выборки от доверительной вероятности и статистической точности (использовано биномиальное распределение)

Пусть  $k_1$  и  $k_2$  – положительные числа, являющиеся решениями уравнений

$$\begin{aligned} P_1 &= F(k_1) = P\{Y < k_1\} = \frac{\alpha}{2}, \\ P_2 &= F(k_2) = P\{Y < k_2\} = 1 - \frac{\alpha}{2}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $F$  – функция  $\chi^2$ -распределения.

Тогда по свойствам функции распределения

$$F(k_1 < Y < k_2) = P_2 - P_1 = 1 - \frac{\alpha}{2} - \frac{\alpha}{2} = 1 - \alpha = p.$$

Исходя из уравнений (2), при известном объеме выборки  $n$  и уровне значимости  $\alpha$  числа  $k_1$  и  $k_2$  являются квантилями распределения  $\chi^2$ .

Рассмотрим выражение для оценки доверительного интервала, покрывающего неизвестное среднеквадратичное отклонение  $\sigma$  с надежностью  $p = 1 - \alpha$ :

$$P\{|\sigma - s| < \varepsilon\} = 1 - \alpha,$$

где  $s$  – исправленное выборочное среднеквадратичное отклонение.

Неравенство  $s - \varepsilon < \sigma < s + \varepsilon$  из последнего выражения представим в эквивалентном виде:

$$s\left(1 - \frac{\varepsilon}{s}\right) < \sigma < s\left(1 + \frac{\varepsilon}{s}\right). \quad (3)$$

Обозначим  $\varepsilon / s = u$ . Так как статистическая точность  $\varepsilon$  достаточно мала, то  $0 < u < 1$ .

Перепишем неравенство (3) в виде

$$\frac{1}{s(1+u)} < \frac{1}{\sigma} < \frac{1}{s(1-u)}.$$

Домножим это неравенство на  $s\sqrt{n-1}$  и возведем в квадрат:

$$\frac{n-1}{(1+u)^2} < \frac{s^2(n-1)}{\sigma^2} < \frac{n-1}{(1-u)^2}.$$

Так как случайная величина  $\frac{s^2(n-1)}{\sigma^2}$  имеет распределение  $\chi^2$  с  $(n-1)$  степенями свободы, то правое и левое значения последнего неравенства могут быть найдены с помощью величин  $k_1, k_2$ :

$$k_1 = \frac{n-1}{(1+u)^2},$$

$$k_2 = \frac{n-1}{(1-u)^2}.$$

Выразим  $(n-1)$  из первого и второго уравнения и приравняем полученные выражения:

$$k_1(1+u)^2 = k_2(1-u)^2.$$

Учитывая, что  $k_1, k_2$  – квантили уровня  $\frac{\alpha}{2}$ ,  $1 - \frac{\alpha}{2}$  (или, в терминах доверительной вероятности, уровня  $\frac{1-p}{2}$ ,  $\frac{1+p}{2}$ ) соответственно, из предыдущего выражения получим

$$\chi^2_{\frac{1-p}{2}, n-1} (1+u)^2 - \chi^2_{\frac{1+p}{2}, n-1} (1-u)^2 = 0, \quad (4)$$



где  $\chi^2_{\frac{1-p}{2}, n-1}$ ,  $\chi^2_{\frac{1+p}{2}, n-1}$  – квантили распределения  $\chi^2$  с  $(n-1)$  степенями свободы уровня  $\frac{1-p}{2}$ ,  $\frac{1+p}{2}$  соответственно.

Параметр  $u$  можно рассматривать в качестве статистической точности. Действительно, из (3) следует, что  $s(1-u) < \sigma < s(1+u)$ . Тогда, при отклонении  $s$  от  $\sigma$  не более чем на 10% получим  $u = 0.1$ .

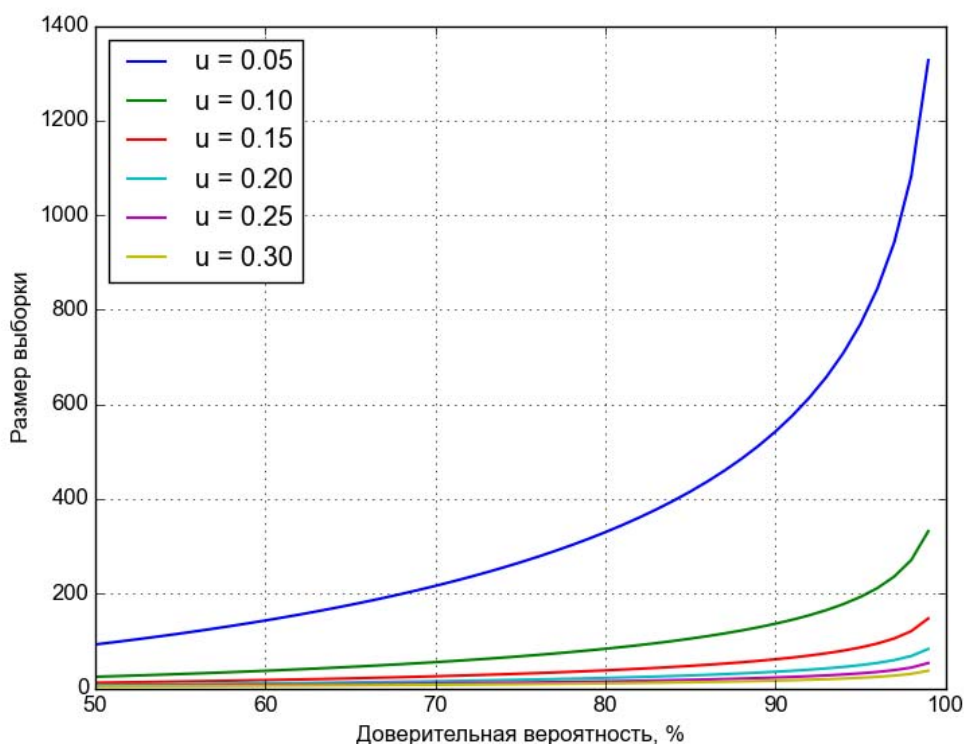


Рис. 2. Зависимость размера выборки от доверительной вероятности и параметра  $u$  (использовано  $\chi^2$ -распределение)

Таким образом, чтобы определить минимальный объем выборки для заданного уровня надежности  $p$  и точности  $u$  уравнение (4) необходимо численно разрешить относительно  $n$ .

Зависимость размера выборки от значения вероятности  $p$  при разных значениях  $u$  представлен на рис. 2, откуда видно, что для  $p = 80\%$  и  $u = 0.1$  необходимо не менее 83 измерений, а при  $u = 0.05$  требуется уже 334 измерений.

### Выводы

Рассмотренные выше подходы представляют собой различные статистически достоверные методы для определения минимального размера выборки. Наименьший размер выборки получен при использовании результатов ЦПТ ( $n \geq 30$ ). При использовании биномиального распределения требуется больше измерений  $n \geq 41$ , а при использовании

распределении  $\chi^2$  число измерений должно быть не менее 83. Очевидно, что увеличение количества измерений позволяет на их основе проводить более надежный статистический анализ.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНОГО ОБЪЕКТА**

*Тимашев С.А.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
Научно инженерный центр «Надежность и ресурс больших систем машин»  
УрО РАН  
TimashevS@gmail.ru

*Бушинская А.В.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
Научно инженерный центр «Надежность и ресурс больших систем машин»  
УрО РАН

## Введение

В работе представлен метод оптимизации средств, выделенных на повышение безопасности потенциально опасного объекта (ПОО). Оптимизационная задача ставится следующим образом: при заданных объеме средств, выделенных на повышение безопасности объекта, и списке (перечне) мероприятий, повышающих надежность ПОО, выбрать такой их набор из списка, при котором величина прироста надежности (уменьшения вероятности отказа) будет максимальной.

В работе использована модель, которая состоит из ПОО и подсистемы его средств защиты. Считается, что ПОО имеет два состояния: работоспособное и состояние отказа. В случае если «отказывают» меры защиты надежность системы снижается. Таким образом, средства защиты рассматриваются как резерв, повышающий надежность ПОО.

Ниже представлен метод оптимизации расходов на обеспечение безопасности ПОО. Для оценки надежности (вероятности отказа) ПОО разработан эффективный метод оценки надежности на основе теории графов и деревьев Брайанта [1], известных также под названием «двоичные (бинарные) диаграммы решений» (ДДР).

## Оценка надежности комплексных систем на основе деревьев Брайанта (двоичных диаграмм решений)

Система взаимосвязанных элементов КИ представляется в виде графа, который строится на основе структурной схемы надежности, элементы которой являются узлами графа, а соединение элементов – ребрами.

Конечный граф  $G = (V; E)$  – это конечное множество вершин (узлов)  $V = \{v_1, \dots, v_m\}$  и конечное множество  $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$  связей (ребер) между вершинами графа. Граф изображается следующим образом: каждая вершина представляется точкой и каждое ребро представляется отрезком линии, соединяющим его концевые вершины. Граф называется ориентированным, если пара вершин, соответствующая каждому ребру, упорядочена, т.е. задано направление связи вершин (указывается стрелкой). Ориентированный граф называется орграфом. В неориентированном графе концевые вершины каждого ребра не упорядочены, и ребра не имеют направления. Ребро называется петлей, если оно начинается и кончается в одной и той же вершине. Считается, что два ребра параллельны, если они имеют одну и ту же пару концевых вершин (и одинаковую ориентацию, в случае ориентированного графа). Граф называется простым, если он не содержит петель и параллельных ребер.

Систему взаимосвязанных элементов можно представить в виде графа, который строится на основе структурной схемы надежности, элементы которой являются узлами

графа, а соединение элементов – ребрами. Пример структурной схемы надежности системы с восемью элементами представлен на рис. 1. Данная схема имеет последовательно-параллельное соединение. Граф для данной структурной схемы изображен на рис. 2.

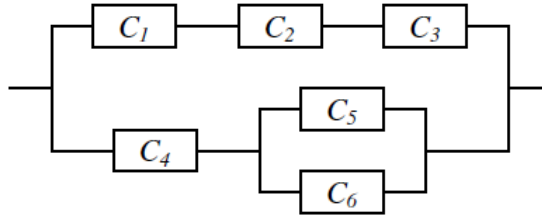


Рис. 1. Структурная схема надежности системы

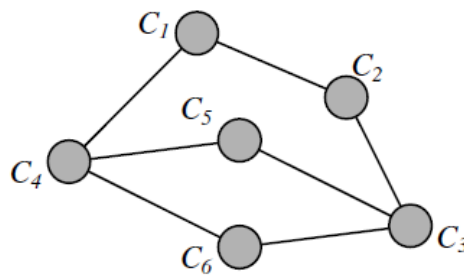


Рис. 2. Граф системы, структурная схема которой изображена на рис. 1

При решении задач графы представляют с помощью матриц (смежности, инцидентности и др.) и специальных числовых характеристик. В данном методе используется только матрица смежности.

Матрица смежности (соединений) графа  $G = (V; E)$  – это  $|V| \times |V|$  матрица  $A = [a_{ij}]$ , в которой  $a_{ij} = 1$ , если в  $G$  существует *ребро*, идущее из  $i$ -й вершины в  $j$ -ю, и  $a_{ij} = 0$  в противном случае. Для графа, представленного на рис. 5.1.6 эта матрица имеет вид

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Заметим, что  $a_{ij} = 0$  для всех диагональных элементов, так как элемент системы не может быть соединен сам с собой.

Для полного представления системы в плане надежности вводятся три новые матрицы: матрица  $\Omega$  физических взаимосвязей элементов, матрица  $R$  надежности элементов и матрица  $\Gamma$  надежности всей системы.

Для системы из  $n$  элементов, каждый из которых имеет вероятность безотказной работы (надежность)  $p_i$ , матрица надежности  $R$  элементов системы задается следующим образом:

$$R = \begin{pmatrix} p_1 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & p_2 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & 0 & p_n \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Это диагональная  $n \times n$  матрица, у которой по диагонали записаны значения надежности элементов.

Пусть  $\omega_{ij}$  – физическая взаимосвязь между компонентами  $C_i$  и  $C_j$ . Матрица взаимосвязей  $\Omega = [\omega_{ij}]$  определяется с помощью замены  $a_{ij} \neq 0$ , в матрице смежности – на  $\omega_{ij}$ . Для системы, изображенной на рис. 1, это матрица выглядит следующим образом:

$$\Omega = \begin{pmatrix} 0 & \omega_{12} & 0 & \omega_{14} & 0 & 0 \\ \omega_{12} & 0 & \omega_{23} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \omega_{23} & 0 & 0 & \omega_{35} & \omega_{36} \\ \omega_{14} & 0 & 0 & 0 & \omega_{45} & \omega_{46} \\ 0 & 0 & \omega_{35} & \omega_{45} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \omega_{36} & \omega_{46} & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Здесь взаимосвязь между элементами определяется по формуле

$$\omega_{ij} = \prod_{k=i}^j [(1 - p_k) \bar{x}_k \vee p_k x_k], \quad i \leq j, \quad ij \in Path, \quad (4)$$

где  $p_i$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента;  $x_i(\bar{x}_i)$  – булева переменная обозначающая событие, что  $i$ -й элемент в работоспособном (отказовом) состоянии;  $Path$  – путь от  $i$ -го к  $j$ -му узлу в направлении отказа системы (см. ниже).

Для оценки взаимосвязей  $\omega_{ij}$  между элементами введем некоторый класс алгоритмов на основе двоичных диаграмм решений.

Двоичная диаграмма решений является формой представления булевой функции от  $n$  переменных в виде направленного ациклического графа, состоящего из внутренних узлов (переменных  $x_i$ ), каждый из которых имеет по два потомка, и двух терминальных узлов (помеченных 0 и 1), каждый из которых соответствует одному из двух значений булевой функции. Ациклический граф – это орграф, в котором отсутствуют направленные циклы (пути, начинающиеся и кончающиеся в одной и той же вершине). В зарубежной литературе бинарные диаграммы решений называются *binary decision diagram* (BDD).

Такая структура представления булевых функций была предложена Р. Брайантом (R. Bryant) в 1986 г. [1]. Это представление использует разложение Шеннона, согласно которому любую булеву функцию по одной из входных переменных можно разделить на две подфункции, называемые положительным и отрицательным дополнением, из которых по определенному принципу, в зависимости от значения входной переменной (по которой выполнялось разложение), выбирается только одна подфункция. Представляя каждую такую подфункцию в виде поддерева и продолжая разложение по оставшимся входным переменным, можно получить дерево принятия решений (бинарное дерево решений), сокращение которого является бинарной диаграммой решений.

Ярусы бинарного дерева решений соответствуют переменным, а дуги дерева – значениям переменных (например, левая дуга – 0, а правая – 1). Листья дерева в последнем ярусе хранят значение логической функции на кортеже, соответствующем пути из корня в этот лист.

Дерево решений можно сократить, если заменить корень каждого поддерева, все листья которого имеют одно и то же значение, этим значением. Такое сокращение значительно уменьшает объем дерева. Дерево решений можно сделать еще компактнее, если отказаться от древовидности связей, т.е. допускать несколько дуг, входящих в узел [2]. В таком случае мы получаем ДДР.

ДДР получается из бинарного дерева решений путем трех преобразований [2]:

- Отождествляются листовые узлы, содержащие нуль и содержащие единицу;
- В диаграмме выделяются изоморфные поддиаграммы и заменяются единственным их экземпляром;
- Исключаются узлы, обе исходящие дуги которых ведут в один узел.

Результат преобразования дерева решений в диаграмму решений существенно зависит от того, в каком порядке рассматриваются входные переменные при построении исходного дерева решений. В этом случае ДДР называется упорядоченной (УДДР). На рис. 3 представлен процесс преобразования дерева решений в УДДР при порядке переменных  $y, x, z$ .

Выбор порядка переменных критически важен при использовании УДДР на практике. Проблема нахождения лучшего порядка переменных является самостоятельной задачей. Однако для решения этой проблемы существуют эффективные эвристические методы.

Используя УДДР для оценки численных значений взаимосвязей между элементами системы, Path в выражении (4) означает путь от  $i$ -го к  $j$ -му узлу дерева в направлении, при котором лист последнего яруса дерева равен нулю (отказ системы). Рассмотрим расчет

значений  $\omega_{ij}$  взаимосвязей элементов на примере системы, структурная схема надежности которой изображена на рис. 1.

Для построения УДДР зададимся порядком переменных  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$ . Полученная УДДР для рассматриваемой системы представлена на рис. 4.

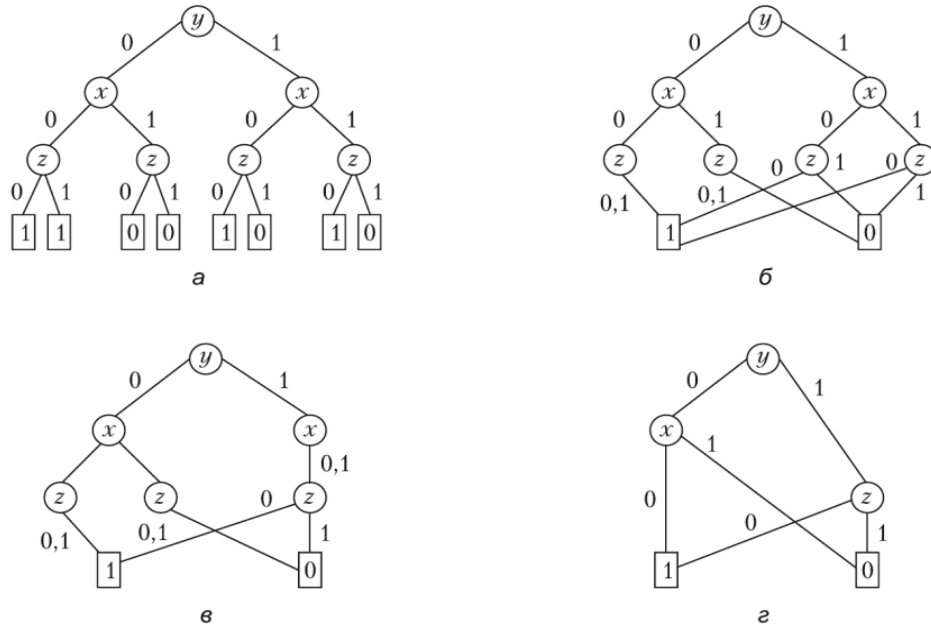


Рис. 3. Процесс преобразования дерева решений в УДДР

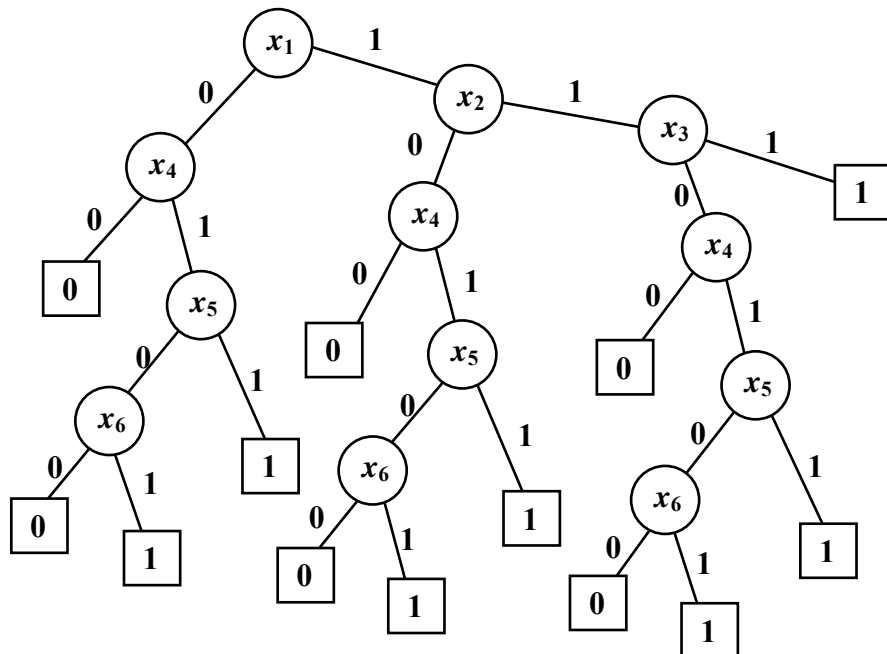


Рис. 4. УДДР для схемы, представленной на рис. 1

Тогда численные значения взаимосвязей  $\omega_{ij}$  между элементами будут вычисляться по формулам



$$\left\{ \begin{array}{l} \omega_{12} = (1 - p_1) p_2, \\ \omega_{23} = (1 - p_2) p_3, \\ \omega_{14} = p_1 p_4, \\ \omega_{35} = p_3 (1 - p_4) p_5, \\ \omega_{36} = p_3 (1 - p_4) p_5 p_6, \\ \omega_{45} = (1 - p_4) p_5, \\ \omega_{46} = (1 - p_4) p_5 p_6. \end{array} \right.$$

Матрица надежности всей системы  $\Gamma$ , основанная на матрице взаимосвязей  $\Omega$  элементов и матрицы  $R$  их надежностей, определяется с помощью выражения

$$\Gamma = [R - \Omega]. \quad (5)$$

Тогда надежность  $R_s$  всей системы вычисляется как детерминант матрицы  $\Gamma$ :

$$R_s = \det(\Gamma). \quad (6)$$

Матрица надежности всей системы для рассматриваемого выше случая примет вид

$$\Gamma = \begin{pmatrix} p_1 & -\omega_{12} & 0 & -\omega_{14} & 0 & 0 \\ -\omega_{12} & p_2 & -\omega_{23} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\omega_{23} & p_3 & 0 & -\omega_{35} & -\omega_{36} \\ -\omega_{14} & 0 & 0 & p_4 & -\omega_{45} & -\omega_{46} \\ 0 & 0 & -\omega_{35} & -\omega_{45} & p_5 & 0 \\ 0 & 0 & -\omega_{36} & -\omega_{46} & 0 & p_6 \end{pmatrix},$$

а надежность всей системы определяется как детерминант матрицы надежности:

$$R_s = \det(\Gamma). \quad (7)$$

### Постановка оптимизационной задачи

При фиксированных средствах  $S$ , выделенных на повышение безопасности ПОО, выбрать такой набор мероприятий из общего их списка, использование которого максимально повышает надежность ПОО:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_i \Delta P_i \rightarrow \max \\ \sum_i S_i \leq S \end{array} \right. \quad (8)$$

где  $\Delta P_i$  – повышение надежности при внедрении на ПОО  $i$ -го набора мероприятий по улучшению безопасности;  $S_i$  – априорная оценка затрат на внедрение  $i$ -го комплекса мероприятий.

Поставленную задачу можно решить обычным методом перебора, который заключается в том, что сначала формируется множество  $M$  всех возможных сочетаний мероприятий из списка по повышению безопасности. Затем для каждого  $i$ -го набора

мероприятий из множества  $M$  вычисляется прирост надежности  $\Delta P_i$ , и стоимость  $S_i$  этого набора. Из полученного множества решений выбирается такой набор, при котором величина  $\Delta P_i$  будет максимальной.

Основная проблема при постановке данной оптимизационной задачи заключается в том, что необходимо в исходных данных задать способ установления зависимости каждого мероприятия из списка (с известной стоимостью ее имплементации) и тем снижением риска (уменьшением ВО), которое возникает при его применении в конкретном ПОО заданной конфигурации при фиксированном сценарии развития инцидента, аварии или нормальной эксплуатации.

### **Алгоритм оценки оптимизации средств, выделенных на повышение безопасности ПОО**

Предполагается, что надежность ПОО  $R_S$  уже известна или оценена согласно п.1 отчета. Необходимо оценить оптимальный набор средств защиты ПОО. Для это нужно оценить прирост надежности ПОО от внедрения каждого набора мероприятий.

Входными данными для алгоритма являются надежность ПОО  $R_S$ , надежность  $R_i$  каждого средства защиты и стоимость его внедрения. Далее формируется полная группа возможных комбинаций средств защиты. Например, если  $a$ ,  $b$  и  $c$  – рассматриваемые мероприятия, то  $G = \{a, b, c, ab, ac, bc, abc\}$ .

Общее количество комбинаций оценивается по формуле:

$$N = \sum_{k=1}^m C_m^k. \quad (9)$$

Для каждой комбинации мероприятий рассчитывается ее стоимость и если полученная стоимость превышает выделенные средства, то эта комбинация отбрасывается.

Далее выбирается первый элемент из полной группы мероприятий и присоединяется к ПОО в параллельно-последовательное соединение (рис. 5). Это соединение виртуально, потому что меры не могут быть физически связаны с ПОО. Также стоит заметить, что это соединение в большинстве случаев параллельно.

Далее формируются матрица смежности (соединения)  $A$ , матрица надежности элементов  $R_c$  и матрица взаимосвязей  $\Omega$ . После чего по формуле (5) находится матрица надежности всей системы  $R_i$  после внедрения  $i$ -го набора средств защиты. Тогда надежность полученной системы будет равна  $\det(R_i)$ . Далее оценивается прирост надежности  $\Delta Q_i$  ПОО от внедрения  $i$ -го набора мероприятий:

$$\Delta Q_i = R_i - R_S.$$

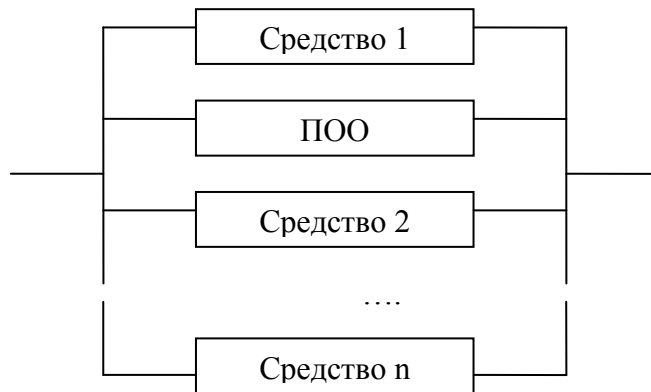


Рис. 5. Блок диаграмма надежности ПОО с набором средств защиты

Процедура повторяется для каждого набора средств защиты.

На конечном этапе из множества комбинаций мероприятий выбирается та, которая дает максимальный прирост надежности.

### **Выводы**

Разработан эффективный метод оценки надежности комплексных систем на основе теории графов и деревьев Брайанта, известных также под названием «двоичные (бинарные) диаграммы решений».

На основе этого метода поставлена и решена задача оптимизации средств, выделенных на повышение безопасности ПОО.

### **Библиографический список**

1. Bryant R.E. Graph-based algorithm for Boolean function manipulation // IEEE Transactions on Computers, 1986. С-35(8). Р. 677-691
2. Новиков Ф.А. Дискретная математика. Учебник для вузов. 2-ое изд. Стандарт 3-го поколения. — СПб.: Питер, 2013. — 432 с.

**II Международная конференция  
«Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур»**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В  
СОЗДАНИИ ЭКО-УСТОЙЧИВОЙ СРЕДЫ  
ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА АСТАНЫ)**

*Тойшиева А.А.*

Евразийский Национальный университет им.Л.Н.Гумилева, г.Астана,  
almagul7@inbox.ru

26-27 июня 2016 года,  
Екатеринбург, Россия

Города как место сосредоточения основной массы жителей Земли призваны удовлетворять их потребностям и обеспечивать достаточно высокое, экологически обоснованное качество городской среды жизни. Но вместе с тем они являются центрами возникновения основных экологических проблем [1].

Идея экологического строительства получила свое развитие в Казахстане сравнительно недавно. Социально-экономические изменения в стране, происходившие в конце XX- XXI вв., вызвали процесс урбанизации крупных городов страны (Астаны, Алматы, Актау, Караганды, Шимкента и др.) и одновременно породили массу экологических проблем. В связи с этим, государством принят ряд мер в направлении достижения устойчивого развития: в марте 1999 года в постановлении Правительства страны одобрена концепция зонтичного проекта «улучшения окружающей среды для устойчивого развития Акмолинской, Восточно-Казахстанской, Карагандинской, Павлодарской областей и города Астаны»; в 2000 году совместно с ООН правительство РК приняло Программу устойчивого экологического развития на 2007-2024 гг.; в «Стратегии-2030» РК «чистота окружающей среды и экология» является одним из приоритетных направлений дальнейшего индустриально-инновационного развития.

В настоящее время, современные тенденции для восстановления экологического равновесия между застроенной территорией и природной среды Астаны склоняются в сторону создания экологических проектов – экогород, экокварталы, экоздания, включая экосады, экоблагоустройство. Общие тенденции для всех проектов – энергоэффективность; эффективность воды; эффективность материалов; оптимизация качества окружающей среды и среды помещения.

### **Экогород**

Важным направлением в устойчивом развитии Астаны является создание «зеленого» пояса вокруг города, «зеленых» коридоров, служащие связующим звеном между городской и загородной природной средой. Дополнительными элементами озеленения будут служить локальные «зеленые пятна» внутри городских микрорайонов, кварталов и отдельных жилых поселений (рис. 1). Одной из главных задач в формировании экологического каркаса города является подключение его к естественному каркасу пригородной зоны, соединение «зеленого пояса» к зеленым массивам Щучинско-Боровской и Алакольской территории [2].

### **Экоквартал**

Команда специалистов Холдинга BI Group (Казахстан) совместно с компаниями AEDAS (Великобритания) и AECOM (Австрия) представили проект «зеленого квартала» «BI CITY» (рис. 2). «BI CITY» строится в центре «нового города» Астаны, вблизи торгово-развлекательного центра Хан-Шатыр, на земельном участке площадью в 20.5 гектара. На

территории участка будут предусмотрены помимо жилых и общественных строений (искусственной среды) элементы природной среды: парковая зона (площадью 14 га); естественное озеро; ботанический сад; оранжереи; ландшафтный экодизайн.



Рис. 1. Экологический каркас Астаны



Рис. 2. «Зеленый квартал»

В зданиях «Зеленого квартала» планируется применение новых строительных материалов на основе современных технологий – энергоэффективные стеклопакеты, позволяющие в 2-3 раза снизить потерю тепла; использование высокоэффективных теплоизоляционных материалов (минеральные утеплители, вакуумная теплоизоляция, пенополистирол), позволяющие создать комфортную среду помещений.

В Астане начато строительство многофункционального комплекса «Talan Towers». Проект многофункционального комплекса «Talan Towers» представили специалисты американской компании SOM, Skidmore, Owings & Merrill LLP (построившие самое высокое здание в мире Burj Khalifa, ОАЭ).

«Зеленые» технологии, которые будут использоваться в этом комплексе – энергоэффективное остекление от компании AGC YourGlass, отвечающее высоким экологическим стандартам; энергоэффективные лифты, передающие использованную энергию обратно в сеть; системы повторного использования дождевой воды и сточных вод (рис. 3).



Рис. 3. Многофункциональный комплекс «Talan Towers»

### **Торгово-развлекательный центр Хан-Шатыр**

Уникальная архитектура центра представлена в виде гигантского прозрачного шатра (высота 150 м.), имеющего конструкцию из переплетенных стальных вант, на которых закреплено прозрачное полимерное покрытие ETFE. Покрытие ETFE – пленка, обладающая



повышенной эластичностью и устойчивостью к сильным температурным перепадам, прекрасными термоизоляционными свойствами и способностью больше пропускать ультрафиолетовые лучи, чем обычное стекло. Автором этого сооружения является известный британский архитектор Норман Фостер (рис. 4).



Рис. 4. Торгово-развлекательный центр Хан-Шатыр



Рис. 5. Культурно-образовательный центр - Дворец школьников

### **Дворец школьников**

Команда специалистов из России (Санкт-Петербург) Studio 44 Architects Никита Явейн и главный архитектор проекта Николай Смолин в 2012 году реализовала в Астане современный культурно-образовательный центр «Дворец школьников», расположенного на



левом берегу города, на пересечении улицы Бауржана Момышулы и проспекта Тауелсыздык. В этом здании обеспечение энергией будет происходить за счет ветрогенераторов и солнечных батарей. В наружной и внутренней отделке стен использованы экоматериалы, натуральные природные камни – гранит, травертин.

### **Новый железнодорожный вокзал Астаны**

Еще одну работу представила команда архитекторов «Studio 44 Architects» - новый железнодорожный вокзал, который строится в юго-восточной части столицы Астаны, на продолжении одной из главных магистралей города улицы Мустафина (рис. 6).

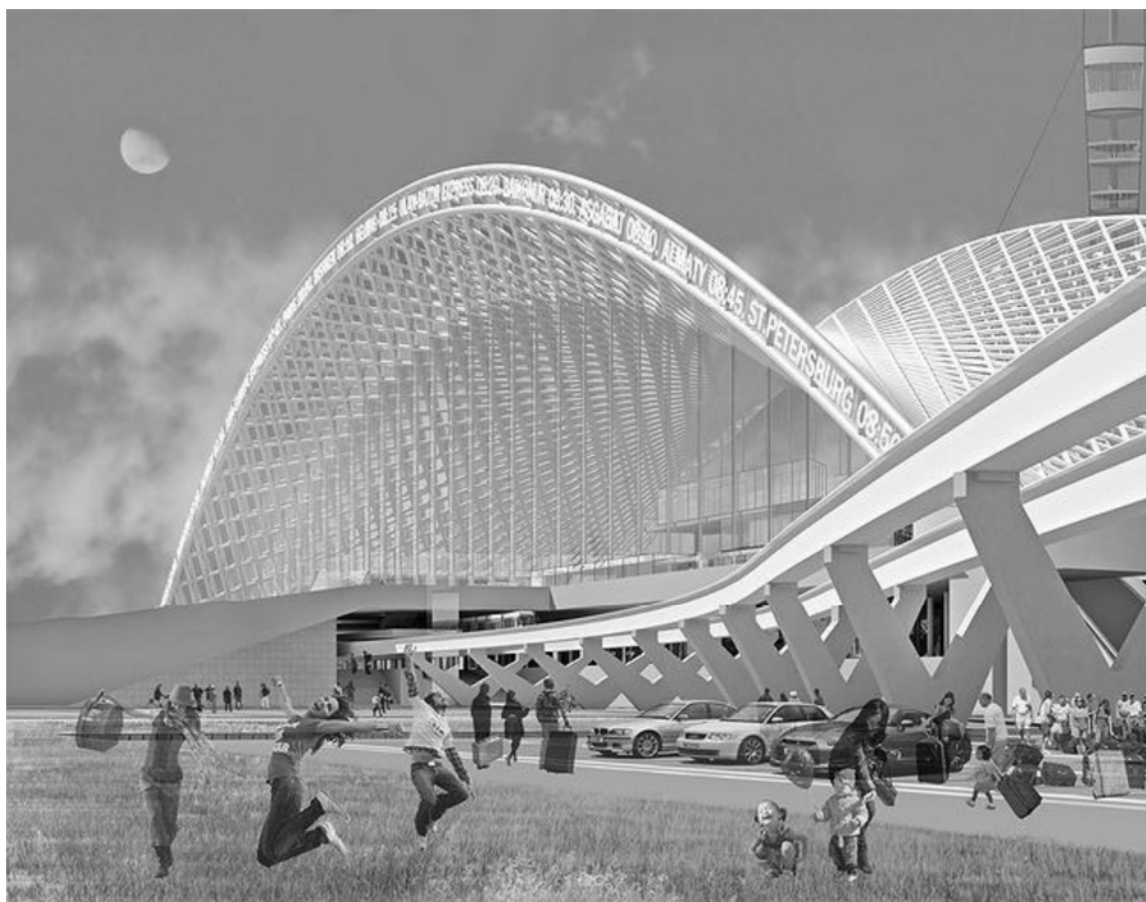


Рис. 6. Новый железнодорожный вокзал

Железнодорожный вокзал Астаны будет также построен по законам экоархитектуры – в комплексе предусмотрено использование современных энергосберегающих технологий (солнечные батареи), технология повторного использования воды, регулирования климата в здании при помощи термальных источников от подземных теплообменников.

### **Библиографический список**

1. Тетиор, А. Н. Городская экология [Текст] / А.Н. Тетиор. – М: Академия, 2007. –336 с.
2. Мыкитанов, Ж. К. Создание зеленой зоны города Астана – прорывной проект искусственного лесоразведения в Казахстане / Ж. К. Мыкитанов, Г. А. Рахимов, О. А. Байтанаев и др. // Вестник КазНУ, серия биологическая. – 2011. – №4(50). – С. 1520.
3. Программа развития ООН в Казахстане. Глобальный экологический фонд. [Текст] / Зеленое строительство. – Астана, 2011. – 32 с.

- 4 Рекомендации публичных слушаний постоянных комиссий маслихата города Астаны по вопросу:  
«О работе управления природных ресурсов и регулирования. Природопользования по улучшению  
состояния экологической обстановки в столице и мерах по ее дальнейшему оздоровлению  
[Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://www.maslihat.astana.kz/ru/node/43125>
5. Владимиров В.В. Урбоэкология. Курс лекций. – М.: Изд-во МНЭПУ, 1999. – 204 с.

**РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ БЕЗОПАСНОСТИ  
ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМ  
ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО  
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

*Толстова Ю.И.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
tolstova@mail.ru

В условиях климата России системы централизованного теплоснабжения относятся к критичным инфраструктурам, так как являются системами жизнеобеспечения. Начиная с 2003 г. в нормативные документы по проектированию введён показатель «живучесть системы», который характеризуется, как способность системы сохранять свою работоспособность [1, 2]. Требования к живучести системы сформулированы в отдельном разделе и включают условия прокладки теплопроводов в неотапливаемых помещениях и перечень мероприятий при пусковых и ремонтных работах.

Однако живучесть системы должна обеспечиваться на стадии проектирования при разработке гидравлических режимов. При этом главным требованием будет обеспечение условия неスキпаниа теплоносителя при максимальной температуре. Кроме того, необходимо выполнять условия прочности оборудования и трубопроводов подсоединяемых систем. Комплекс этих задач решается с помощью разработки графиков напоров, где в определённом масштабе наносится рельеф местности, высоты подсоединяемых объектов и величины напоров в сети. Как указывается в монографии проф. Е.Я. Соколова [3], проектирование сети без учёта графиков напоров может привести к принятию нерациональных схем теплоснабжения и последующим авариям и отказам работы при эксплуатации. Рекомендуется разрабатывать график напоров до проведения гидравлического расчёта.

В соответствии с методологией разработки гидравлического режима [4], построение графика напоров начинается со статического режима. При статическом состоянии системы, т.е. при выключенных сетевых и подкачивающих насосах, давление должно обеспечить заполнение водой трубопроводов, а также местных систем и оборудования источника теплоты, гидравлически связанных с тепловой сетью. Кроме того, напор в любой точке системы не должен превышать допустимых по прочности пределов. Предельные значения напоров для некоторых типов оборудования источника теплоты и местных систем следует принимать по сертификату. Ориентировочные данные приводятся в справочной литературе. Например, для чугунных радиаторов систем отопления допустимый напор составляет 60 м, для трубопроводов тепловых сетей эта величина составляет 160 м, для подогревателей систем горячего водоснабжения – 100 м, для оборудования ТЭЦ – 200 м.

Статический напор на графике характеризуется горизонтальной линией, проходящей на 5 м выше верхней точки рельефа или одного из элементов системы теплоснабжения, гидравлически связанного с ней (как правило, это верхняя отметка наиболее высоко расположенного здания). Если указанные требования невозможно осуществить, то некоторые системы отопления присоединяются к теплосети по независимой схеме или тепловая сеть разбивается на отдельные зоны.

Перед построением пьезометрического графика на динамическом режиме (сетевые и подкачивающие насосы работают) назначается величина удельных потерь напора на трение  $R_{уд} = 5...8$  мм/м. Расчетный перепад напоров у последнего абонента на главной магистрали зависит от схемы подсоединения и может быть предварительно принят  $\Delta H_{AB} = 30$  м. Потери напора на ТЭЦ также принимаются ориентировочно  $\Delta H_{ТЭЦ} = 20$  м. Намечается наинизшее положение начальной точки пьезометрического графика при напоре подпиточного насоса  $\Delta H_{ПН} = 10$  м.

Определяются потери напора в обратной магистрали:

$$\Delta H_{OBR} = R_{уд} \sum L,$$

где  $\sum L$  – общая длина обратной магистрали от ТЭЦ до последнего абонента, м.

Строим линию обратного пьезометра, которая, как правило, должна проходить выше самых высоких точек отопительных систем и трубопроводов. После этого проводится вертикальная линия, соответствующая потерям напора у последнего абонента  $\Delta H_{AB}$ . Затем строится пьезометрический график для подающей магистрали. Потери напора такие же, как в обратном трубопроводе. Далее на пьезометрическом графике откладываются потери напора на ТЭЦ  $\Delta H_{ТЭЦ}$ . Таким образом, получаем предварительный график напоров.

После этого производится проверка выполнения требований, предъявляемых к динамическому режиму [2]:

- а) напор в подающем трубопроводе тепловой сети должен обеспечивать невоскипание воды при её максимальной температуре в любой точке подающего трубопровода. Напоры, обеспечивающие невоскипание теплоносителя, приведены в табл. 1.
- б) все системы, присоединенные к тепловой сети, должны быть заполнены водой, т.е. напор в любой точке обратного трубопровода и местных систем, гидравлически связанных с тепловой сетью, должен быть избыточным (не менее 3-5 м);
- в) напор в любой точке тепловой сети не должен превышать допустимого для оборудования и трубопроводов, присоединенных в этой точке;
- г) напор в тепловой сети должен обеспечивать требуемую циркуляцию теплоносителя.

**Таблица 1**

**Напоры, обеспечивающие невоскипание теплоносителя**

Температура теплоносителя, °С	180	160	150	140	120
Напор, м	93	64	40	30	18

Для одновременного удовлетворения вышеперечисленных требований к динамическому режиму весь график можно перемещать вверх или вниз. При несоблюдении требований «а», «в», «г» принимается решение о подсоединении местных систем по

независимой схеме или об установке подкачивающих насосов на подающей или обратной магистралях (либо на подающей и на обратной), или дросселирующих устройств.

Если не обеспечивается невосклицательное (п. «а»), то весь пьезометрический график перемещается вверх параллельно самому себе, а напор подпиточных насосов соответственно возрастает. При этом необходимо следить за возрастающим напором в обратной магистрали и принимать окончательное решение о схемах присоединения отопительных систем и установке подкачивающих насосов.

В соответствии с выбранными решениями по гидравлическому режиму производится гидравлический расчёт системы и определяются диаметры участков тепловой сети.

Другим важным условием обеспечения живучести системы теплоснабжения является правильная расстановка неподвижных опор и устройств для компенсации тепловых удлинений на основании метода предельных напряжений. Здесь используются данные о допустимых расстояниях между неподвижными опорами с учётом схемы тепловой сети и необходимости использования самокомпенсации.

Заключительным этапом разработки гидравлического режима является гидравлический расчёт и график напоров с учётом потерь в местных сопротивлениях (окончательный). При этом может быть использован метод эквивалентных длин и детальный учёт местных сопротивлений либо коэффициенты местных потерь, приведённые в предыдущих изданиях СНиП [5]. По результатам окончательного графика напоров принимаются параметры и производится подбор сетевых, подпиточных, подкачивающих и смесительных насосов.

Таким образом, на стадии проектирования обоснованно решаются вопросы обеспечения живучести систем теплоснабжения в режиме эксплуатации.

#### **Библиографический список**

1. СНиП 41-02-2003. Тепловые сети. М.: ФГУП ЦПП, 2004. 72 с.
2. СП 124.13330.2012. Тепловые сети: актуализированная версия СНиП 41-02.2003. М.: Минрегионразвития, 2012. 78с.
3. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: уч. для ВУЗов. 9-е изд. стереотипное. - М.: изд. МЭИ, 2009. 472 с.
4. Михайлишин Е.В, Толстова Ю.И. Теплоснабжение жилых районов: уч. пособие/ Е.В. Михайлишин. Екатеринбург: изд – во Урал. ун-та, 2012. 100с.
5. СНиП 2.04.07-86\*. Тепловые сети. М.: ГП ЦПП, 1997. 48 с.

## **ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАЙ РАЗНЫМИ МЕТОДАМИ**

*Трошкова Н.Д.*

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,  
troshkova-nina@mail.ru

Нормативная документация по проектированию свайных фундаментов регламентирует оценивать несущую способность свай по грунту пятью различными методами. Один из них расчетный и четыре полевых [1, 2].

При этом предпочтение отдается результатам испытаний натурных свай статической нагрузкой. Если на объекте не предусматривается проведение статических испытаний, то несущую способность свай рекомендуется определять расчетным методом, или по данным статического зондирования грунтов, или по результатам испытания свай динамической нагрузкой.

На стадии проектирования, кроме расчетного, практически доступен только один полевой метод – статического зондирования грунтов, выполняемый в составе инженерно-геологических изысканий. Однако и он часто становится бесполезным при проектировании свайных фундаментов, так как при изысканиях зондирование проводится с “дневной” поверхности грунта без учета отметки дна проектируемого котлована и глубина остря оказывается недостаточной для расчета несущей способности свай.

Большой набор применяемых методов при отсутствии их взаимной корреляции затрудняет оценку фактической несущей способности свай на стадии проектирования.

Существующий расчетный метод определения несущей способности свай, разработанный в 30-е годы прошлого века, основан на обобщении результатов статических испытаний свай и использует только лишь физические характеристики грунтов без учета их прочностных свойств, что приводит к его низкой достоверности. На качестве оценки несущей способности свай расчетным методом сказывается так же и недостаточно четкая классификация малосжимаемых грунтов, что затрудняет отнесение свай к стойкам, или висячим.

В какой – то мере недостатки расчетного метода предполагалось компенсировать полевыми методами испытаний, однако фактически на предпроектной стадии ни статические, ни динамические испытания свай, как правило, не проводятся. В результате разработка проектной документации производится только с использованием расчетного метода.

Результаты полевых методов испытаний служат только для контроля несущей способности уже запроектированных свайных фундаментов. Это приводит к необходимости корректировки несущей способности свай, а иногда к полной переработке проектной документации. Все это часто приводит к существенному недоиспользованию несущей способности свай по грунту до 30–50% и более.

Большой набор существующих методов оценки несущей способности свай сам по себе не может повысить их достоверность без разработки коэффициентов надежности



каждого из них относительно условного “эталонного” метода. В настоящее время к общепринятому эталону относят метод статических испытаний натурных свай.

В предлагаемой работе представлены сопоставимые результаты определения несущей способности свай четырьмя методами: расчетным, по данным статических и динамических испытаний натурных свай и по результатам статического зондирования грунтов. На четырех объектах в г. Екатеринбурге и Челябинске проведены 22 сопоставимых испытания свай. Результаты приведены в таблице.

Таблица 1

## Расчет несущей способности свай по результатам испытаний

№ свай по проекту	Марка сваи	Глубина погружен ия	Метод оценки несущей способности свай						% относительно Статических испытаний		
			расчет	Динамические испытания		Статические испытания		статич. зонд.	расчет	Динам. испыт.	Статичко нд..
				Fd, кН	Отказ, м	Fi, кН	Осадк., мм				
Микрорайон Академический. Блок 2,3; Корпуса А; Б; С; Д; Е.											
600А	С70.40	5,6	1712	0,011	1028	30	1900	-	90,1	54,1	-
624А	С70.40	4,7	2500	0,004	1776	12	2000	-	125,0	88,8	-
128А	С70.40	3,5	2425	0,007	1330	11	2400	-	101,0	55,4	-
727В	С70.40	4,4	2224	0,005	1316	13	2400	-	92,7	54,8	-
184В	С70.40	4,1	2268	0,004	1481	8,3	2400	-	94,5	61,7	-
13С	СП1С80. 40	5,4	1780	0,003	1522	12	2600	-	68,5	58,5	-
30С	С100.40	5,3	2469	0,007	941	30	2060	-	119,8	45,7	-
18Д	С60.40	5,0	2439	0,005	1200	30	2550	-	95,6	47,0	-
112Д	С70.40	4,5	1660	0,005	1166	30	2150	1275	77,2	54,2	59,3
									96,0	57,8	59,3
Ул. Ирбитская – Д.Зверева. 27-эт. Жилой дом №2											
32	С120.30	10,5	1326	0,004	744	30	1080	995	122,7	68,9	92,1
654	«	11,0	1675	0,005	659	30	1015	1185	165,0	64,9	116,7
СП1	«	8,8	1260	0,002	1139	30	1175	-	107,2	96,9	-
СП2	«	11,6	1531	0,002	1139	30	1175	956	130,3	96,9	81,4
СП3	«	11,0	1476	0,001	1500	30	1200	1077	123,0	125,0	89,7
СП4	«	10,5	1348	0,001	1500	30	1200	800	112,3	125,0	66,6
СП5	«	11,0	1500	0,007	547	30	1150	700	130,4	47,6	60,8
СП6	«	12,0	1236	0,006	585	30	675	-	183,0	86,6	-
СП7	«	10,8	1461	0,001	1500	30	1200	1100	121,7	125,0	91,6
									132,8	93,0	85,5
Ул. Машинная. 37-эт. Жилой дом № 2											
290	С120.30	11,6	1201	0,002	1191	30	1100	-	109,0	108,0	-
Г. Челябинск. Производственный комплекс по производству цемента											
482	С120.30	11,3	1082	0,004	894	15	1200	645	90,2	74,5	53,7
310	«	11,6	749	0,010	587	30	1100	908	68,0	53,4	82,5
25	«	11,6	737	0,005	835	9	950	-	83,5	87,8	-
									80,5	80,0	68,1

Сравнение несущей способности свай проводилось с результатами статических испытаний свай, принятых за 100%.

В микрорайоне Академический при возведении фундаментов блока 2.3 применялись сваи сечением 40х40 см, забивка производилась гидромолотом SUPER-RAM 8000, с массой ударной части молота 8 тонн.

При возведении фундаментов группы жилых домов по ул. Ирбитской – Д. Зверева применялись сваи сечением 30х30 см. Забивка производилась гидромолотом SGH-0312, с массой ударной части 3 тонны.

При возведении фундаментов комплекса по производству цемента на территории ЧМК в г. Челябинске применялись сваи сечением 30х30 см. Забивка производилась штанговым дизель-молотом С -330 с массой ударной части 2.5 тонны.

Приведенная выборка может послужить основой для дальнейшего накопления экспериментальных данных с целью повышения достоверности оценки несущей способности свай разными методами.

Для расчетного метода разброс средних значений относительно статических испытаний составляет от 80.5 до 132.8 %, что примерно соответствует ранее опубликованным данным института Фундаментпроект [3]

Для динамических испытаний этот разброс составляет от 57.8 до 93 %. По результатам статического зондирования грунтов разброс составляет от 59.3 до 85.5 %.

Следовательно, все три метода оценки несущей способности свай могут давать результаты как существенно занижающие, так и завышающие фактическую несущую способность свай.

Для расчетного метода это лишний раз подтверждает необходимость разработки метода расчета с использованием не физических, а механических (прочностных) показателей свойств грунтов. Для динамических испытаний и статического зондирования грунтов, имеющих относительно меньшие отклонения, необходимо дальнейшее накопление сопоставимых данных. Среднеарифметическое отклонение для статического зондирования грунтов составляет 77%, что является наилучшим показателем.

#### **Библиографический список**

1. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85, М.2011
2. ГОСТ 5686-2012. Грунты. Методы полевых испытаний сваями. М.2012
3. А.А.Ободовский. Проектирование свайных фундаментов. М: Стройиздат, 1977. 111с.

**ДИРЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЯЩИКАМИ  
С СРЕДСТВАМИ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ  
ЗАЩИТЫ В РАМКАХ БЕСПРОВОДНОЙ  
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИИ**

*Ушаков Д.Е.*

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск,  
[sleepinthewater@gmail.com](mailto:sleepinthewater@gmail.com)

Основная цель управления эвакуацией – исключение или минимизация жертв. В рамках мероприятий проводимых для достижения этой цели в здании устанавливаются ящики со самоспасателями (ЯС). Самоспасатель предназначен для защиты человека от токсичных продуктов горения (в т.ч. оксида углерода) при эвакуации из задымленных помещений во время пожара, а так же от других опасных химических веществ (паров, газов и аэрозолей) в случае техногенных аварий и террористических актов. Но в условиях экстренной эвакуации получить доступ к этому ящику мешают несколько факторов: люди не знают где он находится, открыть в условиях паники такой ящик представляется сложным. Система директивного управления эвакуацией позволяет исключить или уменьшить влияние этих факторов и максимизировать пользу от ЯС.

Система оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ) устанавливаемые в зданиях малоинформативны. Ограниченный функционал не позволяет в кратчайшие сроки предоставить информацию о заблокированных проходах и местах установок ЯС. Так для решения этой проблемы разрабатывается беспроводная система директивного управления эвакуацией [1, 2]. Основная идея управления процессом эвакуации заключается в предоставлении участникам эвакуации своевременной информации внесенной в систему из вне или полученной при расчете моделей эвакуации из данных отслеживания динамики развития состояния среды в здании, выделения участков здания, пребывание в которых людей по тем или иным причинам нежелательно.

Мониторинг состояния здания осуществляется через распределенную сеть беспроводных сенсоров с обратной связью (данные передаются как от сенсоров на сервера, так и от серверов на сенсоры, а также между сенсорами), снимающих показания по задымленности, температуре, содержанию газов и других характеристик, влияющих на процесс эвакуации. По результатам мониторинга и командам директивного управления в автоматическом режиме идентифицируется состояние возникновения чрезвычайной ситуации или проявления террористической активности. Система указания путей эвакуации работает в режиме реального времени, то есть как только сенсорный узел идентифицировал или получил сигнал начала эвакуации, или сработала команда директивного управления на основе математической модели эвакуации проектируются пути из всех помещений здания. Эти пути указываются людям с помощью светодиодных информационных указателей [3], звуковых оповещателей [4] и т.д.

Беспроводная система директивного управления эвакуацией позволяет производить воздействия на систему оповещения двумя путями:

- автоматический режим при расчете динамических путей самой системой в автономном режиме или при директивном воздействии на пространственно-информационную модель здания [5].
- воспроизведение директив с внешнего устройства управления сразу на оповещателях: световые табло, звуковые оповещения по зданию или в комнате, управление запирающими механизмами при их наличии.

Исходя из этого был определен основной состав аппаратной системы:

1. Совокупность конечных сенсорных узлов. Автономные устройства содержащие: управляющий блок на базе микроконтроллера, адресный радио-модуль, набор сенсоров.
2. Совокупность маршрутизаторов. Маршрутизатор является повторяющим узлом и служит для поддержания целостности сети, ретранслируя информацию от узлов к узлам.
3. Вычислительные модули. Расчетные модули, позволяющие давать оценку состоянию среды в здании в каждый момент времени.
4. Совокупность оповещателей. Аудио, визуальные элементы подключенные к конечным узлам, информирующие о текущих путях эвакуации или необходимых действиях, директива на которые приходят с центрального узла.
5. Пульт управления системой или мобильное устройство. Этот элемент позволяет вводить ограничения на ПИМ, создавая дополнительные условия на конкретные участки здания, уменьшая проходимость для динамических алгоритмов расчета путей эвакуации. Так же позволяет выводить директивы напрямую в необходимые зоны.

Программной частью для каждого узла является программа написанная на языке C/C++. Определяющая характер работы каждого элемента, связь с другими элементами и порядок обработки команд на каждом этапе работы системы.

В такой системе заранее определены места установок ЯС, он является конечным узлом. Это позволяет рассчитывать пути следования к ЯС, по средствам изменения состояния световых указателей или звуковых команд. При выявлении опасности СОУЭ в автоматическом режиме, оценив ситуацию, открывает ящик. Такой подход позволяет исключить время на открытие ящика участниками эвакуации. СОУЭ получает информацию от конечных сенсоров о состоянии среды и делает вывод о необходимости открыть ящик и стоит ли направлять участников эвакуации к ним. Информация о состоянии среды и ящика отображается на пульте администратора, с которого он может давать директивы на конечные узлы СОУЭ. Определяя директивы, администратор может открыть или закрыть ящик заранее, включить оповещатели в сторону следования к ЯС.

В данный момент разработан аппаратно-программный комплекс директивного управления эвакуацией. Аппаратной частью конечных узлов и маршрутизаторов, узлов

управления ящиками является микроконтроллеры ATmega128rfal [6], включающий в себе радио модуль RFA, которые позволяют организовывать сеть топологии mesh по протоколу Lightweight Mesh. Проводятся испытания на стенде.

Разработанный программно-аппаратный комплекс директивного управления эвакуацией из здания в условиях ЧС позволяет в режиме реального времени представлять траектории движения людям, находящимся в здании, указывать пути к ящикам с самоспасателями и менять их состояние.

#### **Библиографический список**

1. Ушаков Д.Е., Варламов Д.В. Беспроводная система директивного управления эвакуацией из здания ВУЗа в условиях ЧС. \\\ Безопасность в техносфере, вып. 10, мат. междунар. конф. г. Ижевск, 2016, С. 53-62.
2. Ушаков Д.Е. Особенности инструмента директивного управления эвакуацией для ввода ограничений на пространственно-информационную модель здания \\\ Безопасность в техносфере, вып. 9, мат. всероссийской. конф. г. Ижевск, 2015, С. 48-49.
3. Ваштиев В.К. Беспроводной указатель путей эвакуации в здании при пожаре \\\ Безопасность в техносфере, вып. 10, мат. междунар. конф. г. Ижевск, 2016, С. 44-47.
4. Степанов А.О. Разработка системы голосового оповещения при управлении эвакуацией \\\ Безопасность в техносфере, вып. 10, мат. междунар. конф. г. Ижевск, 2016, С. 63-68.
5. Галиуллин М.Э. Создание и использование Пространственно-Информационной Модели здания (ПИМ) для расчета величины пожарного риска при составлении декларации пожарной безопасности. \\\ Безопасность в техносфере, вып. 9, мат. всероссийской. конф. г. Ижевск, 2015, С. 60-81.
6. ATmega128RFA1 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.atmel.com/devices/atmega128rfal.aspx>, свободный (дата обращения: 13.05.2016).

**II Международная конференция  
«Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур»**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ  
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ  
СТРОИТЕЛЬСТВА ЭКО ДОМОВ**

*Ходжагали И.Н.*

Казахская головная архитектурно-строительная академия, г. Алматы,  
республика Казахстан  
[i.khodzhagali@mail.ru](mailto:i.khodzhagali@mail.ru)

*Хисамутдинова А.Н.*

Казахская головная архитектурно-строительная академия, г. Алматы,  
республика Казахстан,

**26-27 июня 2016 года,  
Екатеринбург, Россия**

В наше время актуальна тема экологического состояния Земли. И каждого в современном обществе волнует состояние здоровья, продукты потребления, внешний вид. Так почему же нас так редко волнует место, где мы живем?

Мы часто слышим об ЭКО материалах и ЭКО домах, но редко имеем полное понимание значения этих слов. ЭКО проекты появились впервые в 70-х годах прошлого столетия, после второго экологического кризиса. В то время обеспокоенность экологического состояния планеты привело к экологическим проектам с использованием побочных продуктов неисчерпаемых запасов: солнечного света, ветра, воды, процессов разложения биомасс. И в наше время использование и разработка экологических проектов является одним из главных направлений в архитектуре.

Первый ЭКО дом был построен в 1974 году в США, штат Миннесота, назван "Уроборос" (рис. 1). По древним легендам Египта и Древней Греции "Уроборос" олицетворяет змея поедаящего свой хвост, который не нуждается в потребности из вне, вечный цикл существования за счет самого себя (рис. 2). В последствие все проекты ЭКО сферы будут построены по принципу "Уроборос", с условием полного симбиоза с окружающей средой.

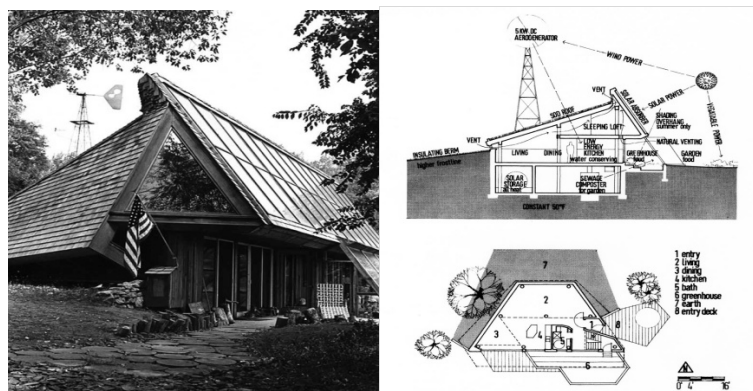


Рис. 1. Проект Уроборос



Рис. 3. Змей

Основными принципами ЭКО домов являются:



- использование экологически чистых материалов;
- правильное расположение светопропускных и теплопропускных поверхностей;
- альтернативные источники энергии;
- правильный способ утилизации отходов;
- приточно-вытяжная вентиляция, обеспечивающая приток чистого воздуха и его выход без загрязнения окружающей среды.

К примеру можно привести здание в Италии архитектора Марко Ачербиса, под названием "Эффективность во всем" (рис. 3). Это центр стратегических инноваций признан самым эффективным и безвредным сооружением с энергетической классификацией A+ по CasaClima, что является самым высоким показателем. Все это позволило оценить здание по самым высоким критериям экологичности, качества, экономичности и социально-культурным аспектам.



Рис. 3. Здание "Эффективность во всем»

Сегодня существует множество жизнеспособных объектов. Все они направлены на поддержание экобаланса и представляют собой устойчивые экосистемы с использованием энергии от Солнца. Сейчас создаются целые города на основе ЭКО домов, таких как "Солнечный парк" с использованием "биосолярных домов", с использованием солнечных батарей, позволяющих экономить энергию в 10 раз. Также переизбыток энергии сохранять на будущее помогает дом "R 128" в Германии и "Лесной дом" шотландского архитектора Стивена Джонсона, являющихся целой экосистемой зависимой лишь от ветроэлектрогенератора, производящего электричество. Многие опасаются, что солнечные батареи могут плохо вписаться в архитектурный дизайн дома. В данном случае панели являются независимыми от здания, показывая оригинальное решение данного вопроса. Чаканат Ридж Дом (рис. 4) был спроектирован архитекторами Прентисс и находится он в штате Вашингтон.

Условно ЭКО материалы можно разделить на три основные типа:

- природного происхождения (камень, дерево, гипс, смола, солома, глина (саман), природные минералы и т.д.);

- природно-искусственные, (магnezитовые плиты, гипсокартон, керамика, базальтовые маты, экофайбер и т.д.);



Рис. 4. Чаканат Ридж Дом

- искусственного (химического) происхождения;
- Для возведения стен используются следующие традиционные материалы:
- Силикатный или глиняный кирпич, которые изготавливаются из натуральных компонентов: смеси известняка с песком или глиной. Кирпич – один из самых надежных и эстетичных стройматериалов используемых долгое время.
- Натуральное дерево. Для использования дерева необходима обработка, после чего может прослужить долгое время.
- Натуральный камень. Самый крепкий и долгосрочный материал, но требует больших усилий финансовых затрат. Не используется для постройки многоэтажных домов.

В наше время обычного использования пластиков и синтетических покрытий, существуют также новые экологически чистые материалы, такие как:

- Керамическая пена (керпен) – новый высокопористый стройматериал, который производится из цеолитов, легкоплавких глин, базальтов, перлитов, а также отработанных горных пород. Более прочен, чем кирпич, при этом весит значительно меньше. Пригоден для долгосрочного строительства домов.
- Зидарит – плиты используемые в строительстве, которые состоят на 90% из древесной стружки и на остальные 10% – из жидкого стекла и цемента. Используются в строительстве капитальных домов в качестве опалубки, конструкционно-строительного материала, утеплителя.
- Камышит, соломит – легкие и прочные блоки из камыша или соломы, в которых в качестве связующего используется глина. Из камышита и соломита при теплом климате могут быть построены небольшие дома, а при холодном климате могут использоваться как хозяйственные постройки. Эти материалы могут также использоваться в качестве утепляющего слоя при строительстве капитального дома из деревянных досок или кирпича.

- Геокар – теплоизолирующие и шумопоглощающие блоки, изготовленные из торфа с добавлением древесной стружки. Обладают высокими бактерицидными свойствами: уничтожают туберкулезную палочку также ряд других вредных микроорганизмов. Пригодны для постройки зданий высотой до трех этажей. Сходными свойствами обладают грунтоблоки, которые имеют немного другой состав: помимо торфа в них могут входить хвоя и зола.

Для утепления используются экологически чистые современные материалы изготавливаемые из целлюлозы (эковаты), базальта, вспененной стекломассы (пеностекла), древесных плит (волны), минеральной ваты (УРСА).

Для кровли экологическими материалами являются керамическая и металлочерепица, листовая медь. Такие материалы способны прослужить более 50 лет. Менее долговечные – мягкие кровельные материалы на основе битума. Их выпускаются в форме волокнистого листа или черепицы.

ЭКО материалы используются не только при строительстве, но при и ремонте. Соответственно они подразумевают меньшее употребление природных ресурсов, безвредность, отсутствие загрязнения, и имеющие минимальные нерадиоактивные твердые бытовые отходы. Новые ЭКО материалы имеют свои преимущества: размагничивают, шумоизолируют, отражают ультрафиолетовое излучение, имеют термостатистические и антистатистические свойства, негораемы и т.д.

Проекты созданные из экологически чистых материалов привлекают своей эстетичностью и экономичностью. Современная архитектура воплощает в себе все возможные идеи, которые гармонируют с окружающей средой, безопасны для обитания человека, но и поддерживают природу. Таким образом, развитие ЭКО проектов набирают свою силу и актуально в наше время. Возможно в будущем будут реализоваться именно они.

#### **Библиографический список**

1. Эстери Челандзия: Уроборос. Издательство: Альпина нон-Фикшн, 2014.
2. Popular science magazine, декабрь 1973, стр. 80-83.
3. Solar Age magazine, сентябрь 1976, стр. 14-16, 30-33.
4. London City Hall magazine, By Andrew Stevent, 23 февраля 2005.

## **ОСОБЕННОСТИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В УСЛОВИЯХ СУБАРКТИКИ**

*Челомбитко С.И.*

Тюменский индустриальный университет, г.Тюмень,  
sjlss@mail.ru

В последние десятилетия деятельность нефтегазовых компаний все дальше распространяется в северные регионы России, особенностью которых является наличие многолетнемерзлых пород (ММП). По различным данным криолитозона в России занимает более 11 млн.км<sup>2</sup>, составляя около 65% территории нашей страны, где сосредоточено более 30% разведанных и около 90% потенциальных запасов углеводородного сырья. Несмотря на предпринимаемые меры для безопасной эксплуатации нефтегазовых объектов, в процессе выполнения буровых работ, добычи нефти, а также ее транспортировки неизбежны разливы нефти, приводящие к загрязнению почвенно-растительного покрова (ПРП). Исследования показывают, что даже незначительное загрязнение ПРП нефтью приводит к изменению механических и теплофизических свойств поверхностного слоя [3,4,8]. Низкая температура и высокая влажность сезонно-талого слоя (СТС) в условиях криолитозоны препятствуют протеканию химических и биологических процессов по нейтрализации компонентов нефти в загрязненной почве, в результате чего самовосстановление загрязненного слоя становится практически невозможным. Растительность тундры в основном состоит из мхов и лишайников, которые особенно чувствительны к любому техногенному воздействию, а нефтяное загрязнение приводит либо к их гибели, либо к возможному длительному самовосстановлению в течение более 10 лет. Действующие нормативные документы по рекультивации нефтезагрязненных территорий изначально разрабатывались для местностей, не имеющих ММП (так исторически сложилось, что добыча нефти началась на Кавказе), и в последующем частично модернизировались [7]. Несмотря на то, что с течением времени разработка нефтяных месторождений все дальше «смещалась» в северные регионы, мероприятия по рекультивации загрязненных нефтепродуктами территорий не учитывают климатические особенности местности (например, для тундры характерны низкие среднегодовые температуры, высокая влажность ПРП и грунтов, ММП и формирующийся за летний период СТС) [6,7]. Исследованиями установлено, что уничтожение и даже замена вида растительности приводит к нарушению естественного теплового баланса со всеми возможными негативными последствиями: увеличению мощности СТС, повышению влажности, морозному пучению, заболачиванию территории и т.д. [1, 3, 9]. Для предотвращения деградации тундры и других территорий криолитозоны от последствий случайных нефтяных загрязнений необходима разработка новых нормативных документов, которые предусматривали бы мероприятия, обеспечивающие впоследствии аналогичное протекание тепло- массообменных процессов на восстановленных территориях с ММП, как и на естественных, не подверженных техногенному воздействию.

Рекультивация загрязненных нефтью территорий в настоящее время выполняется в 2 этапа – технического и биологического [2, 6, 7]. На 1-м /техническом/ этапе после сбора

нефти с дневной поверхности выполняется перемешивание загрязненного слоя (боронование, и т.д.) с внесением питательных компонентов, способствующих более активному протеканию химических и биологических процессов в почво-грунте. Основная цель данного этапа – снижение токсичности загрязняющих веществ до безопасных для окружающей среды величин. При достижении допустимой нормы концентрации вредных веществ в восстанавливаемом слое переходят ко 2-му (биологическому) этапу, когда осуществляется посев трав и другие аграрные мероприятия для возможности последующего самовосстановления ПРП. Такой порядок рекультивации доказал свою эффективность на территориях, не имеющих ММП. В условиях криолитозоны России среднегодовая температура воздуха изменяется от  $-1$  до  $-14^{\circ}\text{C}$  (от европейских до восточно-сибирских регионов) и за короткий бесснежный период самовосстановления почвенного слоя, содержащего нефтяные фракции, практически не происходит [1, 3]. Поэтому, единственный путь, позволяющий в будущем рассчитывать на реальное восстановление территории, загрязненной нефтью – полное удаление нефти путем вывоза нефтезагрязненного ПРП и грунта. Как известно, в условиях тундры мхи и лишайники исполняют роль теплоизолятора при отсутствии снежного покрова, существенно влияя на образование СТС. Замена их на другой вид растительности в процессе рекультивации территории может привести к деградации данного участка, т.к. каждый вид растительности обладает «собственной» способностью поглощать лучистую энергию солнца, тем самым предопределяя поступление тепловой энергии в ПРП. В действующих нормативных документах при планировании работ ни технического, ни биологического этапов рекультивации не предусматривается учитывать процессы теплообмена восстанавливаемого деятельного слоя с окружающей средой (тем более не учитывается массоперенос влаги). Это негативно отразится в дальнейшем на состоянии поврежденных территорий т.к. приведет к неуправляемому протеканию процессов тепломассобмена, а вследствие уничтожения естественного растительного покрова – к развитию криогенных процессов. В настоящее время основанием для положительного заключения государственной экологической экспертизы по рекультивации загрязненной территории является содержание загрязняющих веществ в ПРП ниже ПДК, и создание травяного покрова. Дальнейшее восстановление территории до естественного состояния «поручается» природе.

### **Выводы**

1. Для недопущения деградации тундры от случающихся нефтяных загрязнений необходима разработка новых нормативных документов по рекультивации, которые бы предусматривали мероприятия, обеспечивающие аналогичное протекание тепло-

массообменных процессов на восстановленных территориях, как и на естественных, не подверженных техногенному воздействию.

2. Технический и биологический этапы рекультивации должны основываться на результатах математического моделирования процессов переноса тепла и влаги в почвенно-растительном и нижележащем грунтовом слое для формирования в последующие годы такой же толщины СТС, как на естественных близлежащих территориях. Поэтому, уже на стадии планирования соответствующих работ необходимо закладывать такие параметры будущего восстановленного слоя (толщину и тип грунта, ПРП, их тепло-физические свойства, альбедо растительности и т.д.) которые бы не допустили развития криогенных процессов.

3. На 1-м этапе технической рекультивации обязательно полное удаление нефтепродуктов с загрязненной территории. Это необходимо как для нормального роста тундровой растительности, так и возможности прогнозирования (расчетным путем) формирования СТС на восстанавливаемой территории. Наличие нефтепродуктов в грунтах не позволяет выполнять какие-либо достоверные расчеты из-за непредсказуемой изменчивости физико-технических параметров загрязненных нефтью почв и грунтов.

4. В результате завершения биологического этапа рекультивации должен быть создан такой почвенно-растительный слой, который обладал бы таким же альбедо, что и естественный (тундровый) покров. Это позволит создать условия для такого же поглощения лучистой (солнечной) энергии дневной поверхностью, как и ненарушенный ПРП, а значит в целом надеяться (с учетом правильно выполненной технической рекультивации) на аналогичное протекание тепломассообменных процессов, как и на ненарушенной территории.

5. Решение государственной экологической экспертизы по реабилитации загрязненной территории должно основываться на мониторинге состояния восстановленного объекта по результатам математического моделирования тепломассообмена с окружающей средой как минимум на период 10 лет- срок возможного восстановления тундровой растительности, при котором использовать механические и теплофизические параметры созданного ПРП.

#### **Библиографический список**

1. Балакирев И.В., Никишова А.С. Очистка грунтов и восстановление нарушенного почвенно-растительного покрова биотехнологическими способами в условиях криолитозоны. Труды Десятой международной конференции по мерзлотоведению ТИСОП, 2012, т.5, с.23.
2. Ганеев И.В., Кулагин А.А. Ремедиация и рекультивация техногенно деградированных земель. Вестник ОГУ, №-6(100)/июнь 2009, с.554-557.
3. Ежелев З.С., Умарова А.Б., Гончарук Н.Ю., Завгородняя Ю.А., Ежелева А.С. Свойства рекультивированных после загрязнения нефтью тундровых почв севера европейской части России. Вестник ОГУ, №-10(159)/октябрь 2013, с.253-256.

4. Нефедьева Ю. А., Мотенко Р.Г., Зыков Ю.Д. Роль трансформации нефтяного загрязнения в формировании акустических, электрических и теплофизических свойств промерзающих грунтов. Криосфера Земли, 2008, т.ХП, №4, с.36-42.
5. Осокин Н.И., Сосновский А.В. Теплофизические свойства мохового покрова и его влияние на термический режим грунтов на архипелаге Шпицберген. Труды Десятой международной конференции по мерзлотоведению ТИСОП, 2012, т.3, с.391-396.
6. Постановление Правительства РФ «О порядке организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории РФ» от 15.04.2002, №240.
7. РД 39-00147105-006-97 Инструкция по рекультивации земель, нарушенных и загрязненных при аварийном и капитальном ремонте магистральных нефтепроводов.-22 с.
8. Трофимов С.Я., Розанова М.С. Изменение свойств почв под влиянием нефтяного загрязнения //Деградация и охрана почв. М.:Изд-во МГУ, 2000, с.359-373.
9. Тыртиков А.П. Динамика растительного покрова и развития вечной мерзлоты в Западной Сибири. М., Изд-во МГУ, 1974.215 с.
10. Box J.E., Fettweis X.,Stroeve J.C., Tedesco M., Hall D.K., Steffen K. Greenland ice sheet albedo feedback: thermodynamics and atmospheric drivers. The Cryosphere, 6, 1-19, 2012.



## **ДЕФОРМИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ ПРИ ПОВТОРНЫХ НАГРУЖЕНИЯХ**

*Чернявский А.О.*

Научно-инженерный центр «Надежность и ресурс больших систем и машин», г. Екатеринбург,  
[a.o.cher@mail.ru](mailto:a.o.cher@mail.ru)

*Чернявский О.Ф.*

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск,  
[cherniavskiiof@susu.ac.ru](mailto:cherniavskiiof@susu.ac.ru)

Работа ряда конструкций характеризуется периодическим добавлением и исчезновением элементов, которые, взаимодействуя с основной конструкцией, вызывают циклическое изменение напряжений в ней. Примером могут служить тяжелонагруженные лебедки, где намотка троса на барабан вызывает его обжатие, приводящее в некоторых случаях к прогрессирующему с числом циклов уменьшению диаметра и увеличению длины барабана [1]. Другим – и гораздо более известным – примером является замерзание и таяние воды, окружающей конструкцию. Твердая фаза (лед), превосходящая по объему жидкую, первоначально заполнявшую конструкцию, может вызывать значительные напряжения. Кроме воды, свойством увеличивать объем при переходе в твердую фазу, обладает висмут, используемый как теплоноситель (компонент теплоносителя) в некоторых перспективных атомных реакторах [2].

Изменение относительного объема материала и появление напряжений в связи с этим характерно и для других воздействий – неравномерного нагрева, распухания материала вследствие взаимодействия со средой или нейтронного облучения. Методам расчета таких конструкций посвящено значительное количество работ, использующих как поцикловые расчеты кинетики деформирования, так и прямые методы – см., например, обзор [3]. Особенностью работы этих конструкций является выработка (в течение некоторого числа циклов) системы остаточных напряжений, приводящих к тому, что стабильный цикл отличается от первого. В конструкциях с переменной структурой часть материала периодически освобождается от остаточных напряжений (таяние льда с превращением в жидкость, размотка троса с барабана ваерной лебедки и т.д.), и методы расчета должны учитывать этот факт.

В современных условиях численные расчеты кинетики деформирования оказываются в ряде случаев проще, чем аналитические прямые методы. Рассмотрим в качестве простого примера моделирование замерзания воды в трубопроводе. В качестве первого приближения будем полагать задачу полностью осесимметричной, и нагрузки постоянными вдоль оси трубы.

Увеличение объема воды при замерзании на 10% соответствует окружной деформации 3.2% – или около 5% в случае, когда длина трубы не меняется. Окружная деформация стенок трубы несколько меньше вследствие сжимаемости льда, но это снижение невелико: оно имеет тот же порядок, что упругая деформация стали: модуль упругости льда примерно на порядок меньше, чем у стали, а соотношение напряжений определяется общеизвестной формулой для безмоментной цилиндрической оболочки. Появление пластических деформаций при этом неизбежно: для обеспечения чисто упругой работы трубы с соотношением толщины стенки к диаметру, равным 0.1, потребовался бы материал с

пределом текучести 3 ГПа. Таким образом, однократное замораживание должно увеличивать диаметр трубы, но недостаточно, чтобы привести к разрушению трубы из пластичного материала.

Таяние приводит к снятию нагрузки и формированию системы остаточных напряжений в стенке трубы. Эти напряжения связаны с неравномерностью распределения условных упругих напряжений по толщине стенки и, таким образом, отсутствуют в тонкостенных трубах. В трубе с заметной толщиной стенки такие напряжения возникают, и роль их отличается от роли остаточных напряжений в конструкциях с постоянной структурой, в которых повторяющиеся тепловые воздействия приводят к выработке системы благоприятных остаточных напряжений и замедлению накопления деформаций с числом циклов (в соответствующем диапазоне условий и при отсутствии прогрессирующего коробления, т.е. потери устойчивости процесса деформирования – см., например, [5]). При циклических замерзаниях-таяниях воды в толстостенной трубе накопление деформаций ускоряется от цикла к циклу, даже если деформации в каждом цикле вычислять по размерам трубы на начало этого цикла – и, таким образом, отстроиться от факта, что в каждом последующем цикле замерзает большее количество воды.

Численные методы позволяют решать эту задачу в более общей постановке – с учетом отсутствия симметрии (при наличии разностенности, неизбежной в реальных трубах), трения между стенкой трубы и льдом, геометрической нелинейности и возможности потери устойчивости процесса пластического деформирования, т.е. образования шейки. Численные эксперименты показывают, что наиболее значимым фактором является трение: в случае большого трения (прилипания) процесс поциклового накопления деформаций является устойчивым даже при большой (до  $1/3$  толщины стенки) разностенности, а при малом трении он оказывается неустойчив: при первом нагружении возникает шейка, деформации в которой превосходят ресурс пластичности материала и приводят к разрушению.

Использование численных методов позволяет решать и задачи с более сложной схемой, в которых аналитически получить решение было бы чрезвычайно сложно. В качестве примера на рис. 1 показано поведение трубы в промерзающем и оттаивающем грунте. Решение задачи включало тепловой расчет (изменение температур грунта вследствие климатических воздействий на поверхность земли с учетом влияния трубы и температурной зависимости свойств грунта, в том числе – при замерзании/таянии) и расчет кинетики деформирования системы с учетом одностороннего характера взаимодействия трубы с грунтом (контактное взаимодействие, не передающее растягивающих усилий).

Неодновременное по глубине промерзание и таяние грунта приводит к появлению дилатационных напряжений, схожих по проявлениям с тепловыми. Но таяние воды

сопровождается значительным снижением жесткости и – как в рассмотренной выше задаче о трубе – исчезновением остаточных напряжений. Поэтому процесс накопления перемещений не прекращается с числом циклов. Поведение трубы и картина перемещений грунта около нее напоминают всплытие тела в вязкой жидкости, но это сходство является только внешним: механизм «всплытия» не имеет никакого отношения к силе Архимеда. По этой причине попытки управлять процессом, добавляя постоянную весовую нагрузку с помощью одеваемых на трубу утяжелителей (см., например, [6, 7]), могут быть не всегда успешны.

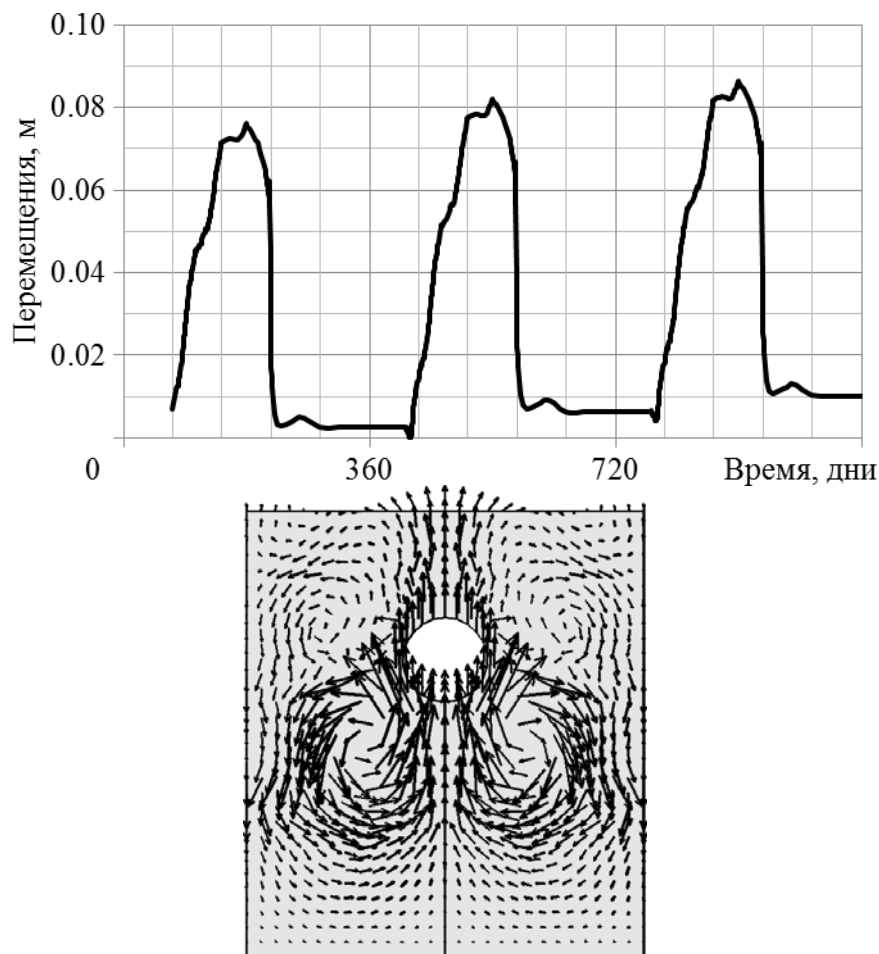


Рис. 1. Вертикальные перемещения оси трубы и картина распределения перемещений

Анализ циклического деформирования конструкций с переменной структурой имеет много общего с анализом поведения теплонапряженных конструкций. Однако исчезновение остаточных напряжений в определенный момент цикла, соответствующий изменению структуры конструкции, существенно влияет на результаты и должно быть учтено – как при использовании методов расчета кинетики деформирования (в частности, МКЭ), так и при разработке прямых методов анализа.

## Библиографический список

1. Solovyov V.I., Cherniavsky A.O. Computational and experimental analysis of trawl winches barrels deformations - Engineering Failure Analysis, 2013, 28, p.160-165
2. Безносков А.В., Драгунов Ю.Г., Рачков В.И. Тяжелые жидкометаллические теплоносители в атомной энергетике – М.: ИздАТ, 2007 г. - стр. 434
3. Чернявский О.Ф. Теория приспособляемости и ее практическое применение (к 100-летию этого раздела механики и 50-летию его развития в ЧПИ - ЧГТУ - ЮУрГУ) – Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2013. Т. 13. № 2. С. 4-18.
4. Жданова С.М. Инженерное мерзловедение – Хабаровск Издательство ДВГУПС 2004 – 54 с.
5. Процессы малоциклового деформирования конструкций АЭС и методы их расчета / Махутов Н.А., Гаденин М.М., Чернявский О.Ф., Чернявский А.О., Европин С.В. – Атомная энергия. 2009. Т. 107. № 3. С. 136-142.
6. Grechishchev S.E., Magomedgadzhieva M.A., Dmitrieva S.P. Special features of frost heave of a buried chilled gas pipeline – В сборнике: Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference ISOPE 2005. – Seoul, 2005.
7. С. Акагава , К.Ким , С. Хуанг, Кание, М. Фукуда . Прогнозирование морозного пучения охлажденного газового трубопровода на талых участках области прерывистой мерзлоты. Материалы междунар. конф. "Криосфера нефтегазоносных провинций", Тюмень, 2004, с.46.

**ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ  
КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ ЭКСТРЕННОЙ  
ЭВАКУАЦИЕЙ В ОБЩЕСТВЕННЫХ  
ЗДАНИЯХ ПРИ ПОЖАРЕ**

*Чирков Б.В.*

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск,  
b.v.chirkov@gmail.com

*Варламов Д.В.*

Удмуртский государственный университет, г. Ижевск,  
big.black.fox@gmail.com

В ряде случаев быстрое развитие пожара в здании приводит к блокированию некоторых путей эвакуации, ведущих к безопасной зоне. О свободных безопасных путях люди в здании могут не знать, на что есть несколько причин: неинформированность об эвакуационных выходах, малофункциональная система оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ), установленная в здании. Наличие системы указания путей эвакуации в режиме реального времени особенно значимо для зданий сложной конфигурацией с массовым пребыванием людей.

Построение и указание маршрутов движения до безопасной зоны (эвакуационных выходов) в режиме реального времени предполагает непрерывный мониторинг параметров среды в здании (температуры, задымленности, концентраций газов, опасных для человека). Кроме состояния среды, необходима информация о распределении людей по помещениям здания. Эта информация собирается специальными устройствами – сенсорами конечных узлов (сенсорными узлами). Конечные узлы являются устройствами беспроводной сети, где обмен информацией осуществляется по радиоканалу.

На основе анализа полученной информации о состоянии среды в здании и распределении людей в автоматическом режиме с помощью моделирования формируется так называемая функция проходимости по помещениям здания. Предполагается, что функция проходимости равна единице, если ни один из параметров среды не достиг предельных значений [1]. На основе информации о проходимости и распределению людей по зданию в данный момент времени, формируются команды управления, которые доводятся до людей посредством специализированных устройств управления людскими потоками: информационных указателей [2], звуковых и речевых оповещателей [3]. Система указания путей эвакуации работает в режиме реального времени. Перерасчет путей эвакуации, оповещение людей о новых безопасных маршрутах движения и заблокированных путях проводится по мере развития чрезвычайной ситуации и поступления новых данных от сенсоров конечных узлов. При проектировании безопасных путей эвакуации учитываются как уже образовавшиеся скопления людей, так и потенциальные скопления. Прогноз образования потенциальных скоплений людей осуществляется на базе математического моделирования процесса движения людских потоков при эвакуации.

Кроме автоматического управления эвакуацией предусмотрен режим директивного управления – ручное формирование команд устройств управления людскими потоками лицом, принимающим решение [4, 5].

Проектирование путей эвакуации предполагает наличие пространственно-информационной модели (ПИМ) здания, имеющей определенную структуру [6].

ПИМ здания включает пространственную модель здания и некоторый набор характеристик каждого помещения (или части помещения) в здании. Среди характеристик – начальное количество людей, пожарная нагрузка и т.д. Каждое помещение разбивается на одну или несколько зон, в каждой из которых характеристики однородны. Все зоны в здании связаны между собой проемами или виртуальными переходами для достижения топологической связности ПИМ здания. Топологические представляются в виде двудольного графа, объединенного внешней зоной безопасности.

Моделирование позволяет спроектировать маршруты от каждой зоны здания до зоны безопасности. Маршрут строится с учетом значений функции проходимости и принципа минимизации времени движения до зоны безопасности.

Математическая модель движения людских потоков [7] базируется на экспериментально установленной зависимости скорости передвижения людей от их количества в  $\varepsilon$ -окрестности [8]. Результатом моделирования являются спроектированные пути эвакуации, которые обеспечивают минимальное время достижения выходов из здания.

С момента начала эвакуации проводится моделирование движения людских потоков, с использованием информации с сенсоров о развитии пожара и блокировании помещений. В связи с тем, что моделирование протекает быстрее, чем действительная эвакуация, осуществляется остановка процесса моделирования через интервал сеанса моделирования  $T_s$  (в частном случае,  $T_s = 3$  с). Следующий шаг моделирования с опережением проводится при достижении времени действительной эвакуации моделируемой временной отметки, или в связи с поступлением важных данных с сенсоров о состоянии среды (информация о блокировании помещений).

Беспроводная система динамического указания путей эвакуации людей из здания, включает:

- Совокупность конечных узлов. Каждый конечный узел – автономное устройство на базе микроконтроллера с автономным источником электропитания.
- Совокупность маршрутизаторов. Маршрутизатор в отличие от конечного узла, может не только принимать и отправлять данные, но и ретранслировать данные с других маршрутизаторов.
- Управляющий узел представляют собой автономное устройство, содержащее маршрутизатор и вычислительный модуль. Вычислительный модуль, получая информацию от конечных узлов, обеспечивает проектирование путей эвакуации. Результаты проектирования отображаются на аудиовизуальных информационных указателях.



Основой аппаратной части конечных узлов и маршрутизаторов является микроконтроллер ATmega128rfa1 [9], содержащий в себе сетевые возможности, удовлетворяющий требованиям экономичного энергопотребления, универсальности, надежности работы и доступной цены. Устройства организованы в сеть топологии mesh по протоколу Lightweight Mesh.

Для исследования и отладки алгоритмов работы и базовых компонентов программно-аппаратного комплекса разработан специализированный испытательный стенд [10].

Разработанный программно-аппаратный комплекс указания путей эвакуации из здания в условиях пожара позволяет в режиме реального времени проектировать пути движения людских потоков и представлять траектории движения людям, находящимся в здании. Спроектированные пути отвечают требованию минимальности времени освобождения людьми здания при пожаре, и отвечают требованию безопасности, то есть траектории эвакуации автоматически прокладываются по доступным для человека зонам.

Исследования и работы выполнялись в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса РФ на 2014 - 2020 годы». Грант Минобрнауки №RFMEFI57414X0038 «Разработка и создание промышленного образца беспроводной системы динамического управления эвакуацией людей из зданий».

#### Библиографический список

Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [Электронный ресурс]: утв. приказом МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382: зарегистрировано в Минюсте России 6 авг. 2009 г. № 14486 (в ред. приказа МЧС России от 12.12.2011 № 749). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

1. Ваштиев В.К. Беспроводной указатель путей эвакуации в здании при пожаре \\\ Безопасность в техносфере, вып. 10, мат. междунар. конф. г. Ижевск, 2016, С. 44-47.
2. Степанов А.О. Разработка системы голосового оповещения при управлении эвакуацией \\\ Безопасность в техносфере, вып. 10, мат. междунар. конф. г. Ижевск, 2016, С. 63-68.
3. Ушаков Д.Е., Варламов Д.В. Беспроводная система директивного управления эвакуацией из здания ВУЗа в условиях ЧС. \\\ Безопасность в техносфере, вып. 10, мат. междунар. конф. г. Ижевск, 2016, С. 53-62.
4. Ушаков Д.Е. Особенности инструмента директивного управления эвакуацией для ввода ограничений на пространственно-информационную модель здания \\\ Безопасность в техносфере, вып. 9, мат. всероссийской. конф. г. Ижевск, 2015, С. 48-49.
5. Галиуллин М.Э. Создание и использование Пространственно-Информационной Модели здания (ПИМ) для расчета величины пожарного риска при составлении декларации пожарной безопасности. \\\ Безопасность в техносфере, вып. 9, мат. всероссийской. конф. г. Ижевск, 2015, С. 60-81.
6. Колодкин В.М., Чирков Б.В., Ваштиев В.К. Модель движения людских потоков для управления при пожаре в здании \\\ Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки. 2015. Т. 25. Вып. 3., С. 430-438

7. Kholoshevnikov V.V., Shields T.J., Boyce K.E., Samoshin D.A., 'Recent developments in pedestrian flow theory and research in Russia', Fire Safety Journal. Vol. 43(2), pp. 108 - 118.
8. ATmega128RFA1 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.atmel.com/devices/atmega128rfa1.aspx>, свободный (дата обращения: 13.05.2016).
9. Чирков Б.В. Испытательный стенд базовых компонентов системы динамического управления эвакуацией \\\ Безопасность в техносфере, вып. 10, мат. междунар. конф. г. Ижевск, 2016, С. 48-52.

**II Международная конференция  
«Проблемы безопасности строительных критичных инфраструктур»**

**ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ  
ДУБЛИРУЮЩЕГО СПОСОБА  
ОПОВЕЩЕНИЯ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ НА  
ОБЪЕКТАХ ИНФРАСТРУКТУРЫ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА  
ОАО «РЖД»**

*Шархун С.В.*

Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС  
России, г. Екатеринбург  
S\_sharhun@mail.ru

*Сирина Н.Ф.*

Уральский государственный университет путей сообщения,  
г. Екатеринбург  
NSirina@usurt.ru.

**26-27 июня 2016 года,  
Екатеринбург, Россия**

Надежное функционирование железных дорог определяется наличием инфраструктуры и хозяйственной базы, обеспечивающей ее работоспособность – способность выполнять заданные функции с параметрами, принятыми в нормативной и проектной документации.

Очевидно, что для эффективной работы инфраструктуры огромное значение имеет техническое состояние зданий и сооружений железнодорожного транспорта, которые, в свою очередь, составляют значительную часть основных фондов ОАО «РЖД» [1].

Наряду с бесперебойной (безопасной) работой железнодорожного транспорта, здания и сооружения должны обеспечивать безопасность работающего в них персонала и не наносить вред окружающей среде [1]. Поскольку, как указано в работе [2] своевременное реальное оказание помощи сотрудникам и посетителям верхних этажей зданий со стороны подразделений пожарной охраны затруднено, в здании должны быть предусмотрены дополнительные меры обеспечения пожарной безопасности. Отдельного внимания заслуживают системы автоматической пожарной сигнализации (АПС) и системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ) используемые на гражданских зданиях ОАО «РЖД».

Как известно и было отмечено в работе Холщевникова и др. [3] системы АПС принимают извещения о пожаре от установленных в здании автоматических и ручных пожарных извещателей, регистрируют и обрабатывают эти сигналы, принимают решение о переходе в режим «Пожар» и формируют сигналы управления системами противопожарной защиты. Надо понимать, что эффективная эвакуация людей зависит не только от правильности выбора, проектирования, монтажа и использования систем АПС и СОУЭ, но и так же от адекватности действий персонала при получении сигнала о необходимости эвакуации.

Обеспечение зданий железнодорожной инфраструктуры на объектах ОАО «РЖД» АПС и СОУЭ еще не значит, что люди адекватно отреагируют на сигнал и своевременно начнут эвакуацию.

Во всех нормативных документах (в том числе и в ведомственных СТО) в области пожарной безопасности предусматриваются требования исходя из идеального сценария поведения людей и реагирования на полученные сценарии. Однако не в одном из документов не предусмотрен, какой-либо альтернативный вариант, связанный с нарушением общепринятых стандартов поведения при пожаре.

Научные труды ряда ученых показывают, что данный вопрос хотя и изучается довольно давно, однако еще далек от совершенства ввиду того, что зачастую поведение людей предсказать довольно сложно. А предлагаемые в нормативных документах системы

оповещения и управления эвакуацией людей только информируют людей об опасности, а решение о времени начала эвакуации принимает сам человек.

Если разбирать более подробно этап принятия решения о начале эвакуации, то его можно разделить на три временных промежутка: время реагирования на сигнал, время, затраченное на окончание выполняемых работ и время, затраченное на подготовительные для эвакуации работы [4, 5] графически это показано на рис. 1.

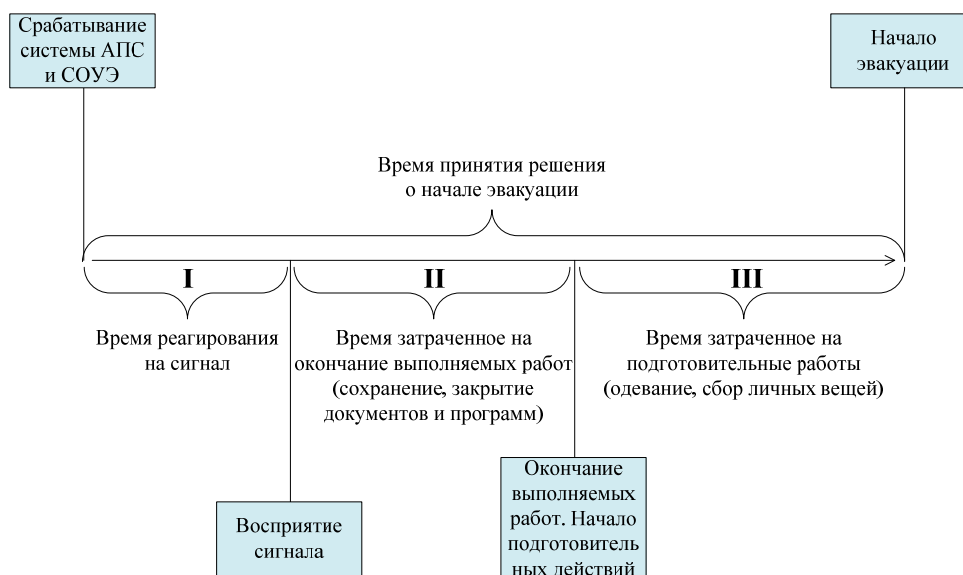


Рис. 1. Время принятия решения о начале эвакуации

Сокращение временного интервала на принятие решения о начале эвакуации в настоящий момент является актуальной задачей для большинства зданий с большим скоплением людей и объекты ОАО «РЖД» тому не исключения. Для решения данной задачи в современных условиях можно выделить два направления (рис. 2) – обучение работников и персонала организаций действиям при поступлении сигнала о пожаре с целью выработки условного рефлекса: «тревога – немедленная эвакуация»; применение специальных технических средств [6] направленных на побуждение человека к принятию одного единственно верного решения при существующей угрозе жизни и здоровья от воздействия на него опасных факторов пожара.

Работы по первому направлению уже ведутся довольно продолжительное время – требования о необходимости отработки планов эвакуации и проведения учений по эвакуации людей при пожаре существуют уже более 10 лет. Однако как показывает практика, при проведении заранее анонсированных учений человек действует быстро и правильно, а услышав тот же самый сигнал в другое время человек действует совсем по другому – пытается установить достоверность сигнала узнать, что конкретно случилось, относится это сигнал к нему лично или нет, а в некоторых случаях человек просто продолжает выполнять свою работу

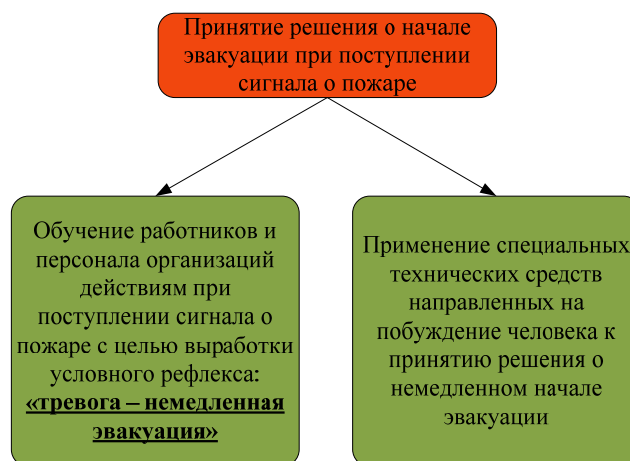


Рис. 2. Возможные пути сокращения времени начала эвакуации

В настоящее время в недостаточной степени уделяется внимание созданию какой-либо технической системы, направленной на то чтобы принудить человека к определенным действиям при получении сигнала «Пожар» в целях своевременной эвакуации из здания и как следствия сохранение жизни и здоровья человека.

Одним из средств направленных на побуждение человека к принятию решения о немедленном начале эвакуации, является дублирование оповещения людей о пожаре «СОУЭ-ПК» [6]. Применение его возможно в административных зданиях ОАО «РЖД» без существенных материальных затрат. Так как внедрение его осуществляется в существующую систему СОУЭ и ЛВС. Подробно данный способ описан в работе [7].

Применение дублирующих способов и систем, позволяющих дополнительно оповестить работников административных зданий ОАО «РЖД» возможно и не противоречит действующим нормативным документам. Однако перед применением данных систем необходимо оценить их технико-экономическую эффективность. Ввиду того, что в настоящее время не существует подходящей универсальной модели необходимо разработать соответствующую математическую модель, позволяющую оценить эффективность применения дублирующего способа оповещения людей о пожаре в административных зданиях ОАО «РЖД».

Учитывая тот факт, что многие составляющие части процесса эвакуации представляют собой случайные величины (особенно в части начала эвакуации) для разработки математической модели целесообразно использовать теорию массового обслуживания, в которой сочетаются методы теории вероятностей и математической статистики.

#### Библиографический список

1. Техническая эксплуатация зданий и сооружений железнодорожного транспорта: Учебное пособие для вузов ж.-д транспорта / В.С Казарновский, П.Я Григорьев А.Я Неустроев и др ; Под ред. В.С. Казарновского – М.: Маршрут, 2006. – 270 с.

2. Шархун С.В., Сирина Н.Ф., Махнев С.А. Анализ оснащённости подразделений пожарной охраны техническими средствами по спасению
3. Эвакуация и поведение людей при пожарах: учеб. пособие / Холщевников В. В., Самошин Д. А., Парфененко А. П., Кудрин И. С., Истратов Р. Н., Белосохов И. Р. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2015. – 262 с.
4. Шархун С.В., Брюхов Е.Н. Своевременное начало эвакуации при пожаре как основа ее эффективности // Журнал "Безопасность жизнедеятельности" №5, май 2015 С. 54—57 (0,1/0,05 п.л.)
5. Шархун С.В. Колбин Т.С., Брюхов Е.Н. Этапы эвакуации людей при пожаре // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: Сборник статей по материалам VI Всероссийской научно-практической конференции курсантов, слушателей, студентов и молодых ученых с международным участием 17 апреля 2015 года – Воронеж, 2015. с 255-259
6. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре – ПК (СОУЭ-ПК) / Шархун С. В. : свид. № 2012617518; правообладатель: Шархун С. В.; заявка № 2012615195; дата поступления 22.06.2012 г.; зарег. в Реестре программ для ЭВМ 20.08.2012 г.
7. Шархун С.В. Средства оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре на основе сетевых технологий // Журнал «Пожаровзрывобезопасность» Том 22 №2 Февраль 2013 г стр. 60-64 (0,2 п.л.)